

BIBL. NAZ.
Vitt. Emanuele III
Racc
De Marinis
A
1280
NAPOLI

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

TRAITÉ

DE

CONSOLIDATION DES TALUS

ROUTES, CANAUX ET CHEMINS DE FER

CONTENANT

Des explications fort étendues sur les causes des éboulements,
La description des procédés de consolidation,
Le prix de revient obtenu pour 296,000 mètres carrés de talus,
et une analyse des systèmes les plus connus
avec un examen des principes

PAR

M. R. BRUÈRE

Ingénieur [illegible] chef de section aux chemins de fer de l'Est

PRÉCÉDÉ D'UNE PRÉFACE

PAR M. A. PERDONNET

Accompagné d'un Atlas in-8° de [illegible]5 planches

PARIS

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE

J. BAUDRY, LIBRAIRE-ÉDITEUR

15, RUE DES SAINTS-PÈRES

LIÉGE, MÊME MAISON

1873



Digitized by Google

Racc. De Marinis
A. 1280

TRAITÉ

DE

CONSOLIDATION DES TALUS

PARIS. — TYPOGRAPHIE A. HENNUYER, RUE DU BOULEVARD, 7.

Digitized by Google

576732

TRAITÉ

DE

CONSOLIDATION DES TALUS

ROUTES, CANAUX ET CHEMINS DE FER

CONTENANT

Des explications fort étendues sur les causes des éboulements,
La description des procédés de consolidation,
Le prix de revient obtenu pour 296,000 mètres carrés de talus,
et une analyse des systèmes les plus connus
avec un examen des principes

PAR

M. R. BRUÈRE

Ingénieur civil, chef de section aux chemins de fer de l'Est

PRÉCÉDÉ D'UNE PRÉFACE

PAR M. A. PERDONNET

Accompagné d'un Atlas in-8° de 25 planches

PARIS

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE

J. BAUDRY, LIBRAIRE-ÉDITEUR

15, RUE DES SAINTS-PÈRES

LIÉGE, MÊME MAISON

1873



Digitized by Google

Le temps fait généralement défaut aux hommes pratiques qui veulent écrire. Ce n'est que très-rarement qu'ils publient des ouvrages sur les travaux qu'ils ont exécutés. Il faut donc leur savoir gré d'y consacrer leurs loisirs après une journée de rude labeur.

M. Bruère est du petit nombre de ceux qui ont voulu faire participer le public à la longue expérience qu'ils ont acquise sur les chantiers. Depuis vingt ans il se consacre à une spécialité, celle de la consolidation des grands talus sur les chemins de fer. Les ingénieurs de chemins de fer connaissent tous la méthode Sazilly, imaginée par feu M. Sazilly, ingénieur des ponts et chaussées. C'est sous les ordres de cet ingénieur que M. Bruère a débuté : il a été son

Digitized by Google

élève. Depuis lors, il a souvent pratiqué sa méthode, et l'a perfectionnée, presque transformée.

Nous ne voulons pas établir ici de comparaison avec les méthodes dont ont fait usage d'autres ingénieurs. Ce que nous pouvons affirmer seulement, c'est que M. Bruère, presque toutes les fois qu'il a opéré, soit en suivant les règles posées par le maître, soit en s'en écartant, a réussi.

Consolider un talus, cela paraît d'abord très-simple, et cependant plusieurs ingénieurs parmi les plus habiles y ont échoué. Au chemin d'Orléans, M. Jullien renonce au percement de la tranchée d'Ablon, dont le talus d'amont s'éboule malgré tous ses efforts pour le contenir. Au chemin de fer de l'Est, M. Marinet est également obligé d'abandonner la tranchée de Dormans. Il est vrai qu'on était alors au début des chemins de fer. Aujourd'hui on fait mieux, mais encore dépense-t-on dans certains terrains des sommes énormes pour traverser les couches glaiseuses, et des sommes presque aussi considérables pour entretenir en bon état les travaux exé-

cutés. La moindre négligence dans l'exécution de ces travaux coûte souvent fort cher aux Compagnies. On ne saurait donc trop étudier ce qui s'est fait jusqu'à ce jour, et on trouvera dans le livre de M. Bruère un trésor de renseignements qui ne se rencontre nulle part ailleurs. Puis, si l'on veut en vérifier l'exactitude, que l'on parcoure le réseau de l'Est, principal théâtre des opérations de M. Bruère, et on obtiendra toute satisfaction. C'est ainsi surtout que l'on pourra se rendre compte de la nature des terrains où ses procédés sont applicables.

Bientôt, nous n'en doutons pas, l'ouvrage de M. Bruère se trouvera dans les mains de tous ceux qui, en France ou à l'étranger, exécutent de grands travaux.

A Perdonnet.

Digitized by Google

AVANT-PROPOS.

Cet ouvrage n'est en quelque sorte que le développement du Mémoire que M. Perdonnet a bien voulu publier en 1857 dans son *Nouveau Portefeuille de l'ingénieur*.

Nous avons entrepris ce nouveau travail à la recommandation de plusieurs ingénieurs qui trouvaient, avec raison, que le Mémoire inséré au *Nouveau Portefeuille*, quoique reproduit en entier, ne donnait pas des descriptions assez étendues et assez nombreuses des procédés de consolidation, ni des observations suffisamment complètes sur les causes et le mode de production des éboulements.

Nous avons fait tout ce qui dépendait de nous pour rendre ce travail digne des personnes auxquelles il s'adresse. Après avoir mûrement étudié les traités ou mémoires les plus importants qui ont été publiés sur le même sujet, nous avons consciencieusement recherché, en comparant entre elles les opinions di-

verses qui ont donné lieu à autant de systèmes différents, les principes qui doivent servir de base à un système qui soit aussi rationnel que d'accord avec les données de l'expérience.

Cet ouvrage a réellement pour point de départ la méthode de M. de Sazilly ; c'eût été une grande satisfaction pour nous si le titre eût pu le rappeler ; nous ne croyons pas faire assez en le constatant ici.

Le Mémoire de M. de Sazilly sur la consolidation des talus a été publié après l'achèvement des travaux qui avaient été confiés à cet éminent ingénieur sur les lignes du Centre et de Strasbourg. On se rappelle l'empressant accueil qui a été fait à cet ouvrage, et l'on sait la légitime influence qu'il a exercée depuis sa publication.

Malheureusement les faits observés jusqu'alors par M. de Sazilly n'étaient ni assez nombreux, ni assez variés. Ses procédés avaient donné les meilleurs résultats ; mais une mort aussi prématurée qu'inattendue ne lui permit pas de généraliser son système et de le rendre applicable dans des circonstances qui, du reste, pour la plupart, ne se sont rencontrées que plus tard. Nous avons l'intime conviction que M. de Sazilly, au bout de quelques années, après avoir constaté des faits nouveaux, eût modifié son système dans le sens de celui que nous publions aujourd'hui. Il lui suffisait d'accorder plus d'importance à des principes qu'il n'a fait qu'indiquer et dont il n'avait pas cru utile de tenir compte dans l'application.

Un sentiment de sincère et profonde vénération nous aurait toujours empêché de discuter les opinions de M. de Sazilly. Mais les impérieuses leçons de l'expérience nous avaient mis depuis longtemps dans l'obligation de modifier ses procédés ; les objections nombreuses et souvent fondées, il faut bien le dire, que depuis quelques années surtout l'on a faites à son système, et d'autre part les puissants encouragements qui nous ont été donnés, nous ont presque mis dans la nécessité de continuer, dans la mesure de nos forces, l'œuvre de M. de Sazilly.

Il ne faudrait donc pas attacher trop d'importance à la liste des perfectionnements que nous avons notés au dernier chapitre de cet ouvrage. Nous avons agi ainsi plutôt pour répondre aux objections de ceux qui trouvaient le système de M. de Sazilly incomplet, qu'en vue de constater des progrès accomplis. Du reste, en toute sincérité, les idées nouvelles contenues dans ce livre nous sont venues de toutes parts ; nous devons quelque chose à notre propre expérience de vingt années, mais nous n'oublions pas ce que nous devons aux conseils qui nous ont été donnés et surtout aux instructions que nous avons reçues des ingénieurs des chemins de fer de l'Est, sous la direction desquels nous avons dirigé les travaux de consolidation qui nous ont été confiés depuis 1849 jusqu'à ce jour.

NOUVEAU SYSTÈME

DE

CONSOLIDATION DES TALUS

1. Les travaux de consolidation que l'on est souvent obligé d'exécuter, principalement dans les terrains argileux, pour l'ouverture des tranchées et la construction des remblais, doivent avoir pour objet :

1° De prévenir les éboulements qui pourraient se produire dans les talus;

2° De réparer promptement et avec économie les talus où des éboulements se sont produits.

2. Les résultats que nous avons obtenus dans les circonstances les plus diverses, après une expérience de plusieurs années, nous permettent de poser comme règle générale, qu'il est toujours possible de prévoir les éboulements de talus, et nous croyons être en mesure d'affirmer qu'en employant le système de consolidation dont nous entreprenons la description, on pourra toujours éviter les accidents qui arrivent si fréquemment pendant et après l'exécution des grands travaux de terrassement.

3. Les travaux préventifs doivent réunir deux conditions principales : certitude et économie ; la première

de ces conditions n'a pas besoin d'être expliquée. Pour consolider les talus avec économie, il est évident que l'on doit s'attacher à la recherche des moyens les plus simples et les moins coûteux, à ne faire aucun travail qui ne soit d'une nécessité absolue : ce qu'on ne peut espérer que quand le constructeur est bien pénétré à l'avance de l'importance du travail qu'il doit exécuter et des causes qu'il doit s'attacher à combattre.

4. Lorsque, pour des raisons quelconques, on ne s'est pas opposé à la production des éboulements, des travaux de réparation sont évidemment indispensables. Ces travaux doivent se faire avec rapidité, car lorsqu'un éboulement vient de se former, les causes qui l'ont produit peuvent subsister encore, et quelquefois même il vient s'en ajouter d'autres souvent très-puissantes. Il en résulte que, dans ce cas, des travaux de consolidation entrepris en temps convenable auront pour résultats :

1° D'empêcher les éboulements de se propager ;

2° De ne pas laisser s'augmenter les difficultés du travail ;

3° Et, conséquence de la plus grande facilité du travail et de l'étendue moindre des éboulements, d'éviter des dépenses plus considérables.

La rapidité avec laquelle on exécute les travaux de consolidation de talus éboulés acquiert une importance bien plus grande encore, lorsqu'il s'agit, par exemple, des tranchées ou des remblais d'un chemin de fer en exploitation. En effet, au moyen de travaux de ce genre bien dirigés, on supprimera en peu de temps les embarras dont les éboulements sont presque toujours la cause ; de plus, on ôtera, à l'occasion, tout prétexte aux plaintes ou aux réclamations des voyageurs dont les

inquiétudes sont quelquefois justifiées par l'aspect des talus éboulés.

Cette dernière raison pourrait sembler bien faible au premier abord ; mais on sait qu'il n'est pas sans exemple que beaucoup de voyageurs, redoutant de passer sur des remblais qui n'offraient pas d'ailleurs une sécurité absolue, aient longtemps hésité à faire leurs voyages par le chemin de fer, et que, spéculant sur des craintes généralement mal fondées, des particuliers aient entrepris de faire concurrence aux compagnies en transportant les voyageurs par les routes ordinaires.

Digitized by Google

CHAPITRE I.

DES DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE CONSOLIDATION.

---

5. Avant d'entreprendre la description du système de consolidation auquel nos expériences et nos observations nous ont conduit, nous pensons qu'il est utile de passer en revue ceux qui ont été adoptés jusqu'à ce jour, et de faire connaître les principes sur lesquels ils reposent.

Ce chapitre, qui contiendra un simple exposé des opinions des ingénieurs et des moyens employés par eux pour arriver à consolider les talus, servira pour ainsi dire d'introduction à la partie qui est spécialement consacrée à la description de notre système.

L'examen des différents systèmes de consolidation fera l'objet d'un chapitre séparé, qui est rejeté à dessein à la fin de cet ouvrage. Pour qu'il soit facile de décider auquel on doit donner la préférence, nous ne ferons d'abord aucune observation, ni sur la valeur des principes, ni sur les avantages et les inconvénients des procédés. Nous croyons en cela faire preuve d'impartialité, puisque, en effet, nous n'entrons pour ainsi dire dans

aucune discussion, avant que le lecteur ait pu déjà lui-même porter un jugement sur la valeur de chacun d'eux, après les avoir comparés.

Principes fondamentaux.

6. Les explications que l'on a données jusqu'ici des causes des éboulements se réduisent, en général, à deux que l'on peut formuler ainsi :

1° Les éboulements sont produits par l'action de la pesanteur;

2° Les éboulements sont produits par l'action des eaux intérieures et des influences atmosphériques.

La première opinion, qui est la plus ancienne et qui a été émise par des ingénieurs très-distingués, est peut-être celle qui compte le plus de partisans. Nous citerons, pour la bien faire connaître, les explications que deux ingénieurs éminents en ont données.

7. M. Collin, ingénieur en chef des ponts et chaussées, dans un mémoire remarquable sur les *Glissements spontanés des terrains argileux,* a cherché à démontrer que les éboulements sont produits spontanément par l'action de la pesanteur. Il s'est attaché, en outre, à déterminer la forme des glacis lorsque des éboulements se sont produits, et à prouver que les surfaces de glissement ne sont pas préexistantes.

Il est inutile, pour le moment, de développer les deux dernières de ces trois propositions qui semblent, du reste, ne devoir être que la conséquence de la première. Nous nous contenterons donc de rapporter quelques

Digitized by Google

citations qui feront connaître le principe fondamental de la théorie de M. Collin, qui s'exprime ainsi à la page 16 du mémoire précité :

« L'objet de ce mémoire est de montrer par des faits suffisamment nombreux et méthodiquement choisis qu'une masse argileuse, dérangée de son état d'équilibre et de repos naturel par une cause qui cesse d'agir après quelques instants, reviendra à un nouvel état d'équilibre lorsque la cause initiale aura cessé, par la direction qui exigera le moindre temps, car il n'y a pas de raison pour que, si cette masse, sollicitée au mouvement par la gravité et subissant son influence incessante, ne revient pas à un état d'équilibre et de repos dans le moindre temps, elle ne reprenne une direction et une vitesse arbitraires qui ne dépendent absolument que du hasard. »

Cette proposition est immédiatement suivie d'une démonstration dans laquelle il est facile de voir que M. Collin raisonne toujours en supposant que les masses qu'il considère se trouvent dans un état d'équilibre instable.

Pour cet ingénieur, les effets produits par l'action des eaux intérieures et des influences atmosphériques ne constituent que des circonstances tout à fait accidentelles et d'une importance secondaire.

« Dans tous les cas, c'est l'action de la gravité qui cause la perturbation d'équilibre, car la destruction de la cohésion produite, soit par le temps, soit par des causes accidentelles, ne présente, dans l'espèce, qu'un état passif : c'est à la gravité seule qu'il faut rapporter les mouvements de translation qui s'opèrent et le glissement proprement dit. Il est donc logique d'admettre que, puisqu'il y a identité entre les causes destructives

Digitized by Google

de l'équilibre dans les deux cas, on doit retrouver la même identité entre les résultats dynamiques, toutes les circonstances matérielles du problème étant supposées les mêmes d'ailleurs. Voilà pourquoi, comme nous le verrons dans les chapitres suivants, les surfaces de glissements de fond et de superficie paraissent être de la même nature, et ont entre elles, quant à la forme matérielle, la plus frappante similitude (page 26). »

En parlant des éboulements de la tranchée de Hesse, au biez de partage des Vosges, il fait suivre la description qu'il en a faite des réflexions suivantes :

« C'est un des plus beaux exemples que nous avons pu *recueillir*. On a expliqué les bouleversements des talus de cette tranchée en disant que la masse glissante fut ramollie par l'infiltration des eaux intérieures, qui est probablement une des causes principales de ces perturbations ; que des suintements nombreux avaient été remarqués dans les talus ; et qu'une source abondante, qui existait à 500 mètres, avait été tarie par le fait de l'approfondissement de la tranchée. La dérivation souterraine des sources voisines a dû agir sans aucun doute plus ou moins énergiquement pour produire cet accident : cela ne nous paraît pas douteux ; mais l'a-t-elle exclusivement déterminé, ou, en d'autres termes, le glissement serait-il survenu abstraction faite de leur puissance ? On peut répondre que le glissement pouvait survenir indépendamment de l'action des sources, mais que probablement, dans cette hypothèse, la perturbation ne se serait manifestée que sous l'influence d'un plus long espace de temps (page 71). »

Ces quelques citations suffiraient pour faire connaître la pensée de M. Collin et prévoir à l'avance la mé-

thode qu'il suit pour arriver à la consolidation des talus. Néanmoins, nous croyons utile d'en rapporter une dernière ayant rapport au mode de production des éboulements.

« Le premier symptôme d'un glissement est une série de crevasses qui s'ouvrent au sommet et dans le sens longitudinal du talus[1]. Ces crevasses ou fentes sont plus ou moins nombreuses, plus ou moins régulières, plus ou moins larges et profondes. Tous ces éléments dépendent essentiellement de l'allure du glissement, qui est lui-même une fonction complexe de la pente du talus, de la nature du terrain, etc.

« La crête de ce talus aux abords des crevasses s'affaisse très-sensiblement. La quantité de l'affaissement, le temps qu'il emploie à naître, dépendent aussi de l'allure du glissement qui va s'opérer. Toutefois, ces affaissements se produisent presque instantanément jusqu'à une certaine limite, et les masses continuent ensuite avec lenteur pendant plusieurs jours leur mouvement descendant. Nous citerons en leur lieu quelques exemples des vitesses de ces masses. La surface du talus qui glisse ne conserve plus sa régularité originelle : elle se déforme, prend un aspect ondulé, se fend dans tous les sens, et particulièrement dans une direction perpendiculaire à la ligne de plus grande pente, et présente alors les variétés que l'on peut voir sur les figures jointes au mémoire :

« Après un temps plus ou moins long, un, deux, trois

[1] M. Collin entend par sens longitudinal du talus la direction perpendiculaire à la ligne de plus grande pente comptée dans le plan du talus.

ou plusieurs jours, le mouvement s'arrête : la masse qui a glissé est passée d'un état d'équilibre instable à un état d'équilibre définitif ou qui paraît tel.

« Si, pendant la période du mouvement, il survient une pluie, l'accélération de la vitesse de la masse est très-sensible et l'équilibre final est plus tôt obtenu; toutefois, l'amplitude du glissement peut être plus considérable sous l'influence de cette circonstance, eu égard à la quantité de mouvement que prend la masse et qui est une fonction de la vitesse de cette masse, toutes choses égales d'ailleurs.

« On conçoit aisément que pendant la période du mouvement, les eaux de pluie, s'infiltrant entre la masse qui glisse et le terrain passif qui sert comme de plan incliné, l'adhérence et le frottement diminuant, le mouvement devienne plus facile, la vitesse plus grande, et que cette masse arrive plus tôt à un état d'équilibre définitif que si elle n'avait point été aidée dans son mouvement. L'intervention de la pluie a aussi pour résultat de délayer les terres de la masse mouvante et de les réduire à l'état de fluidité plus ou moins complète selon leur nature, l'intensité et la durée de la pluie ou de l'écoulement des eaux. C'est à cette dernière cause qu'il faut attribuer l'erreur des constructeurs qui ont admis la préexistence nécessaire d'une surface de glissement que la présence d'une petite couche argileuse ramollie et transportée par les eaux d'infiltration dans le joint de séparation des deux masses semblait jusqu'à un certain point justifier.

« Nous ne parlons pas ici de ce dernier effet comme d'un caractère exclusif de ces phénomènes : on sait bien que l'infiltration des eaux naturelles ou artificielles ne

peut guère s'opérer dans une masse de terre suffisamment compacte pour la réduire à l'état fluent, et que ce dernier état ne se réalise que dans les terres meubles ou désagrégées : or, telle est la forme la plus ordinaire, mais non exclusive, sous laquelle se présentent les masses terreuses qui proviennent des glissements, parce que le mouvement de translation de ces masses sur la surface courbe a pour résultat nécessaire une dislocation et une désagrégation fragmentaires qui favorisent l'infiltration des eaux au détriment de la cohésion et de la consistance propres de ces masses (page 22). »

8. La même proposition, instabilité des masses et par suite action de la pesanteur dans le phénomène de la production des éboulements, a été de nouveau émise quelques années après la publication de l'ouvrage de M. Collin, par M. Chaperon, ingénieur en chef des ponts et chaussées, directeur du chemin de fer de Lyon.

Dans un mémoire inséré aux *Annales des ponts et chaussées* et ayant pour titre : *Observations sur le mémoire de M. de Sazilly, ingénieur des ponts et chaussées*, M. Chaperon donne une explication qui se rapproche sensiblement, comme on pourra en juger, de celle qui a été donnée par M. Collin..

Après avoir exposé en quelques mots la méthode de M. de Sazilly et en avoir signalé l'insuffisance, M. Chaperon donne l'explication suivante :

« Si l'on examine attentivement la forme du terrain dans les coteaux argileux, on reconnaît que le relief actuel du sol ne s'est établi qu'à la suite d'une série séculaire de mouvements dans les couches supérieures, et que la masse tout entière ne présente même qu'un équilibre instable, fréquemment troublé à la suite des dégels

et des longues pluies. Cet équilibre momentané ne se maintient qu'à la condition que les parties supérieures trouvent leur appui sur les parties inférieures du terrain, en sorte qu'il est détruit par la moindre modification apportée dans le relief du sol.

« Si, dans un semblable terrain, on vient à ouvrir une tranchée, quelque peu profonde qu'elle soit, les conditions d'équilibre se trouvent brusquement rompues, et des mouvements auront lieu, sinon au moment même de l'opération, du moins à une époque ultérieure plus ou moins éloignée, lorsque les pluies ou le dégel auront pu ramollir la glaise et en diminuer la cohésion. L'eau qui tombe à la superficie du sol trouve toujours, en effet, des fissures ou des couches perméables, par lesquelles elle s'introduit au sein même des masses argileuses, dont la solidité se trouve ainsi considérablement diminuée à certaines époques.

« La rupture d'équilibre des masses glaiseuses, telle est, à notre avis, la cause prépondérante des grands éboulements et des glissements à grandes distances qui sont si fréquemment la suite de l'ouverture des tranchées dans les coteaux en pente douce des terrains argileux. »

Après avoir donné cette explication qui s'applique spécialement aux éboulements de tranchées, M. Chaperon s'exprime ainsi, en parlant des remblais :

« Les conditions d'équilibre ne sont pas moins troublées quand on établit, sur un sol argileux en pente, un massif de remblai, tel, par exemple, que celui de Combe-la-Ville, au chemin de fer de Paris à Lyon. Il n'est pas besoin, pour expliquer ce mouvement, de faire intervenir l'action des eaux pluviales (qui n'auraient

plus trouvé leur écoulement) [1], car, en réalité, elles s'écoulaient en amont du remblai, vers un aqueduc ménagé sous le chemin de fer. Il est plus naturel et plus conforme à l'observation des faits d'admettre que le glissement s'est produit par suite de l'augmentation de charge provenant du remblai, à laquelle le terrain inférieur n'a plus été capable de résister, quand les couches intérieures de glaise ont été ramollies par l'accroissement des sources. Le sol inférieur se soulevait et descendait en même temps vers la vallée : on l'a chargé d'une couche de remblai et l'on a soutenu le pied au moyen d'un gros mur établi à quelque distance et fondé sur une couche de terrain parfaitement solide. »

Les procédés de consolidation recommandés par M. Chaperon, et que nous aurons l'occasion d'indiquer plus loin, démontrent suffisamment, ainsi que l'explication qui précède, que, d'après lui, il faut reconnaître que la pesanteur est la cause principale des éboulements.

9. Il nous reste à faire connaître les raisons que l'on a données à l'appui de la deuxième manière d'expliquer les éboulements : — Les éboulements sont produits par l'action des eaux intérieures et des influences atmosphériques. Cette opinion, émise de nouveau en 1847, par M. de Sazilly, a été ensuite développée dans le mémoire qu'il a publié en 1851, dans les *Annales des ponts et chaussées*.

Voici comment il détermine la cause et le mode de production des éboulements (page 92) :

« Lorsque la glaise, ordinairement humectée légère-

[1] Voir le mémoire de M. de Sazilly, p. 91.

ment dans son état naturel, est mise à nu et exposée à l'air, la superficie, sur une épaisseur plus ou moins grande, change incessamment de volume, se contractant ou se gonflant, suivant qu'elle perd ou absorbe de l'humidité, c'est-à-dire suivant l'état hygrométrique et la température de l'atmosphère; les gerçures plus ou moins profondes, qui sont l'effet de la contraction due à la sécheresse, absorbent les eaux de pluie ou celles qui proviennent de la fonte des neiges, et ces dernières, pénétrant plus ou moins profondément dans la masse, la ramollissent, augmentent son volume, et peuvent ainsi déterminer un éboulement.

« Ce n'est point ainsi, cependant, que se produisent ordinairement les grands éboulements dont nous avons indiqué quelques résultats au numéro 1.

« Lorsque, en effet, les éboulements ne sont déterminés que par l'action directe et immédiate des influences atmosphériques sur les talus, ils ne pénètrent généralement pas aussi profondément dans la masse, et ce ne serait ordinairement que par des éboulements successifs que le mal pourrait atteindre des proportions considérables.

« Presque toujours la masse glaiseuse est surmontée par un banc de terrain plus ou moins perméable, les eaux pluviales, et celles qui proviennent de la fonte des neiges, filtrant à travers ce terrain, viennent former sur la glaise une nappe d'eau plus ou moins considérable, suivant leur abondance, la saison, la nature et l'état du sol supérieur, l'étendue et la forme du bassin, etc.

« Ordinairement, cette nappe d'eau s'écoule lentement vers le cours d'eau qui forme le fond de la vallée; mais elle n'existe souvent qu'une partie de l'année, re-

paraissant périodiquement après chaque pluie abondante et après la fonte des neiges.

« Si l'on vient à ouvrir une tranchée dans ces circonstances, les eaux de la nappe souterraine, venant à se perdre dans les fissures ou gerçures que les influences atmosphériques déterminent à la surface du talus, ramollissent cette surface sur une épaisseur plus ou moins grande ; le ramollissement s'étend ensuite de proche en proche dans la masse et détermine un éboulement.

« Il se produit quelquefois un simple éboulement partiel, tel que *abc*, figure 1. Alors il existe toujours une fissure *cbc'* entre la partie supérieure du prisme de glissement et la masse du talus ; les eaux de la nappe NN' coulent dans cette fissure ; elles y stagnent forcément, par l'effet de l'imperméabilité de la glaise qui est en avant, exercent une pression contre cette glaise déjà disloquée, et continuent à la ramollir, en même temps qu'elles ramollissent activement la masse qui n'a point encore été mise en mouvement, et l'éboulement ne tarde pas à se produire sur une grande échelle. »

Pour expliquer le plus grand nombre et l'importance plus grande des éboulements à la suite des dégels, M. de Sazilly continue un peu plus loin :

« Les gelées ne venant ordinairement qu'après des pluies plus ou moins abondantes, la nappe d'eau qui se trouve à la partie supérieure des glaises est ordinairement elle-même assez abondante au moment des gelées ; avant l'établissement de la tranchée, les eaux de cette nappe pouvaient s'écouler souterrainement vers le ruisseau qui forme le fond de la vallée, sans que la gelée pût s'y opposer ; mais l'établissement de la tranchée est venu changer cet état de choses ; l'issue de la nappe

nn' est bien vite obstruée par l'action de la gelée ; dès lors, les eaux s'accumulent dans la partie du terrain perméable qui n'est point sujette à l'action de la gelée, exercent contre le talus et contre la masse de la glaise inférieure une pression d'autant plus forte que la nappe d'eau est plus épaisse, et probablement qu'elle descend d'une hauteur plus grande ; cette pression, pendant la durée de la gelée, peut bien ne pas déterminer d'éboulements par suite de la grande cohésion dont jouit alors le talus sur l'épaisseur où il est soumis à l'action de la gelée ; mais elle doit toujours avoir pour résultat de détremper plus ou moins la masse de glaise dans la partie que la gelée n'a pas atteinte. Maintenant, lorsque le dégel arrive avec des pluies, des fontes de neige, ou au moins une atmosphère très-chargéee d'humidité, la partie des talus atteinte par la gelée et qui avait momentanément une grande cohésion, se ramollit brusquement sous cette influence et sous l'influence des eaux intérieures qui reprennent leur écoulement, et l'on comprend alors que la masse détrempée peut s'ébouler. »

On trouvera peut-être que les citations que nous venons de rapporter sont trop nombreuses et trop étendues ; mais nous nous sommes fait un devoir d'exposer d'une manière aussi exacte que possible les principes adoptés par les ingénieurs les plus éminents qui se sont occupés des travaux de consolidation des talus argileux, et nous avons cru qu'il serait difficile autrement de rendre plus fidèlement leur pensée.

10. En résumant ce qui précède, il est facile de conclure que MM. Collin et Chaperon attribuent à la pesanteur la cause des éboulements et que M. de Sazilly ne voit toujours, en définitive, que des effets de

l'action de l'eau, principalement des eaux intérieures.

Il est nécessaire, cependant, d'observer que l'opinion de M. Chaperon diffère sensiblement de celle de M. Collin. M. Chaperon reconnaît l'action ramollissante de l'eau, la diminution de la cohésion avant que les effets de la pesanteur se soient manifestés ; M. Collin, au contraire, suppose que l'effet de la pesanteur se produit en premier lieu ; que la désagrégation qui résulte du mouvement des masses entraîne un amoindrissement de la cohésion des terres, qui ne deviennent fluentes au contact de l'eau que par suite de cette désagrégation.

L'opinion de M. Chaperon ne diffère de celle de M. de Sazilly, quant au principe du moins, qu'en ce que M. de Sazilly ne reconnaît que l'action de l'eau sur les masses argileuses, pendant que M. Chaperon prétend que, avant de subir l'action des eaux de pluie ou de filtration, les terrains qui doivent s'ébouler se trouvent dans un état d'équilibre instable.

Les opinions diverses que nous avons pu recueillir, soit dans les mémoires publiés par les ingénieurs, soit par suite de l'examen des procédés que nous avons vu employer jusqu'à ce jour, se rangent toutes autour de l'une quelconque de celles que nous venons d'exposer. Il est donc inutile de nous étendre davantage sur les principes qui servent de base aux différents systèmes de consolidation des talus.

Procédés de consolidation.

11. Les éboulements des talus, principalement dans le cas de terrains argileux, étant généralement rapportés

à l'une ou l'autre des deux causes dont il a été question dans l'article précédent, il s'ensuit nécessairement que les moyens de consolidation adoptés sont de deux espèces.

Si l'on reconnaît que la cause prépondérante des éboulements provient de l'action de la pesanteur, il est bien évident que l'on sera conduit à neutraliser l'action de cette force en lui opposant des masses construites de telle sorte que la résistance qu'on en obtient puisse rétablir l'équilibre que l'on suppose rompu par suite de l'ouverture des tranchées ou de l'établissement des remblais.

Si, au contraire, on admet que l'eau seule est la cause des éboulements parce qu'elle ramollit les terrains et qu'elle leur fait perdre la cohésion dont ils sont naturellement doués, on est forcément conduit à ne s'occuper que des moyens les plus propres à donner à l'eau une direction convenable, de manière qu'après l'avoir recueillie avant qu'elle ait pu produire aucun effet nuisible à la stabilité des terres, elle soit dirigée dans un sens déterminé favorable à son mouvement jusqu'à ce qu'il n'y ait plus lieu de craindre son action sur les masses qu'il s'agit de préserver.

12. Les moyens employés pour la consolidation des talus sont donc de deux espèces que l'on pourrait désigner ainsi :

1° Moyens de consolidation par soutènement ;

2° Moyens de consolidation par assainissement.

Nous allons essayer de décrire rapidement et d'une manière aussi complète que possible les procédés les plus généralement adoptés, en suivant l'ordre naturel indiqué au numéro précédent.

Systèmes de soutènement.

13. *Contre-forts de M. Collin.* — En première ligne des moyens de consolidation par soutènement, nous devons placer les contre-forts employés par M. Collin. Ces contre-forts construits dans le but unique de s'opposer à l'action de la pesanteur sont de deux sortes :

1° Contre-forts simples.

2° Contre-forts munis d'arceaux de décharge.

Les contre-forts simples sont, ou à faces latérales planes, ou à épaulements en retraite. La différence qui existe entre ces deux espèces de contre-forts consiste en ce que les premiers ont une épaisseur uniforme sur toute leur hauteur (fig. 2), pendant que les seconds sont construits de telle sorte que les faces latérales, au lieu d'être planes, sont munies de retraites ayant $0^m,25$ environ de saillie et dont l'arête est dirigée normalement à la surface de glissement (fig. 3).

Ces contre-forts construits en pierre sèche, par assises horizontales, se relient au terrain solide au moyen de gradins dont la forme est indiquée à la figure 4.

M. Collin recommande particulièrement la seconde espèce de contre-forts simples de préférence à la première, attendu que par suite de la disposition des faces latérales, la résistance de frottement qu'ils opposent au glissement des prismes de terre compris entre deux contre-forts consécutifs est de beaucoup supérieure à celle que l'on obtient en construisant les contre-forts à faces planes parallèles; il évalue même que la résistance est plus que

double quand l'on emploie des contre-forts avec épaulements ou à retraites. Il trouve aussi qu'il y a avantage au point de vue de l'économie.

Les contre-forts de l'une ou de l'autre espèce ont le même volume, puisque l'épaisseur moyenne est la même; mais les contre-forts munis de retraites présentant plus de résistance, il est naturel d'admettre qu'on peut les éloigner davantage.

14. *Contre-forts avec arceaux de décharge.* — Dans les cas les plus difficiles, lorsque l'on craint que les terres des prismes situés entre deux contre-forts consécutifs n'aient pas assez de cohésion pour se maintenir, même avec l'aide de la résistance que l'on obtient par une disposition favorable des contre-forts, M. Collin conseille de construire en pierre sèche des voûtes de décharge disposées comme aux figures 6 et 7.

Lorsque les talus sont plus élevés, la disposition qui vient d'être indiquée pourrait ne plus suffire ; il deviendrait alors nécessaire d'établir deux ou trois arceaux au lieu d'un seul et d'augmenter l'épaisseur des contre-forts, comme l'indique la figure 8.

Tels sont les moyens de consolidation adoptés par M. Collin, qui les fait servir, soit pour prévenir, soit pour réparer les éboulements.

Comme travail préventif, la construction des contre-forts munis ou non d'arceaux de décharge ne présente pas de très-grandes difficultés pour la consolidation d'un remblai. Lorsqu'il s'agit de talus de déblai, M. Collin pense que l'établissement des arceaux de décharge serait une opération très-difficile et fort coûteuse : il croit d'ailleurs que des contre-forts simples doivent suffire.

15. Quand on se propose de consolider préventive-

ment les talus d'une tranchée en cours d'exécution, M. Collin pense que l'on peut y parvenir au moyen de contre-forts simples fractionnés et complets. Voir l'ouvrage de M. Collin, *Glissements spontanés*, etc.

16. La réparation de talus éboulés, soit de tranchées, soit de remblais, s'obtient au moyen des contre-forts dont nous avons indiqué les dispositions aux n°s 13 et 14 (fig. 5).

On commence d'abord par faire la fouille des contre-forts qui doivent être construits avant l'enlèvement de la masse totale de l'éboulement. Les terres éboulées sont ensuite successivement remplacées entre les contre-forts par des terres rapportées et pilonnées avec soin.

17. *Murs de soutènement.* — M. Chaperon, en publiant la note dont une partie a été rapportée précédemment, n'a pas donné de règles précises pour la consolidation des talus argileux; il se contente de dire que pour arrêter le mouvement des terres éboulées ou pour prévenir les éboulements, il ne croit pas qu'il y ait d'autre moyen que de rétablir l'équilibre des masses à l'aide de contre-forts ou murs de soutènement en maçonnerie de pierre sèche, d'une forte épaisseur, élevés jusqu'à une certaine hauteur, de manière que l'on puisse adoucir convenablement la partie supérieure des talus.

18. Voici ce qu'on lit dans le *Nouveau Portefeuille de l'ingénieur*, de MM. Perdonnet et Polonceau (texte, p. 133) :

« Au chemin de Strasbourg on a donné une très-faible inclinaison au talus et on a soutenu le pied par un mur en pierre sèche d'une grande épaisseur, armé d'éperons très-rapprochés (fig. 9).

« Au chemin de Lyon, les murs en pierre sèche ont

Digitized by Google

été remplacés par des murs en maçonnerie, avec liaison de mortier, mais avec un mur en pierre sèche placé en arrière et avec pierrées traversant, de distance en distance, le mur en maçonnerie de mortier.

« L'emploi de la pierre sèche a pour objet de faciliter l'écoulement des eaux qui imprègnent le terrain. »

19. *Revêtements en maçonnerie.* — Les revêtements en maçonnerie se font généralement en pierre sèche. On n'emploie les moellons maçonnés avec mortier que quand les talus ont une inclinaison beaucoup plus roide que celle que l'on adopte dans la construction des chemins de fer ; nous ne nous occuperons donc pas des travaux de cette espèce, qui n'entrent pas dans notre sujet.

20. Les revêtements en pierre sèche ont généralement une épaisseur de $0^m,30$ à $0^m,40$; quelquefois, ils sont disposés de manière que l'épaisseur augmente du sommet à la base ; cette augmentation varie suivant l'inclinaison des talus ; d'après M. de Sazilly, on admet communément que l'accroissement doit être de $0^m,05$ pour un talus de $1^m,50$ de base pour 1 mètre de hauteur, et de $0^m,10$ pour un talus de 1 mètre de base pour 3 mètres de hauteur.

Il arrive très-fréquemment que de simples revêtements étant reconnus insuffisants, on juge nécessaire de les modifier de différentes manières au moyen d'ouvrages accessoires qui en augmentent l'efficacité.

Ainsi « au chemin de Versailles (rive gauche) on a couché sur le talus un mur en pierre sèche avec éperons sur les points les plus menaçants [1]. » (fig. 10.)

21. *Tunnels.* — Il arrive quelquefois que les moyens

[1] *Nouveau Portefeuille de l'ingénieur*, texte, p. 133.

énergiques qui viennent d'être décrits ne sont pas jugés suffisants. Ainsi, par exemple, une partie de la tranchée de l'Alouette, près Vierzon (chemin de fer du Centre) a été consolidée à l'aide d'une voûte continue en maçonnerie. La longueur du tunnel était de 1235 mètres lorsque M. de Sazilly entreprit la consolidation des talus du reste de la tranchée au moyen de caniveaux d'assainissement.

Un travail du même genre a été exécuté, il y a peu de temps, pour consolider une tranchée de la ligne de Paris à Mulhouse.

Systèmes d'assainissement.

22. *Système de M. de Sazilly.* — Les moyens employés par M. de Sazilly pour arriver à la consolidation des talus ne devaient nécessairement avoir pour objet que de préserver les terrains argileux des effets de l'humidité et de les soustraire aux influences atmosphériques qui favorisent si puissamment l'action des eaux sur les terrains de cette nature.

Pour atteindre ce résultat, il s'attache à recueillir les eaux de filtration, de manière qu'elles ne puissent produire aucune action destructive sur les terrains ; ensuite, au moyen d'un revêtement, il met la surface des talus à l'abri des influences atmosphériques.

De là, il résulte que les travaux à exécuter pour consolider les talus sont de deux espèces :

1° Assainissement du terrain naturel;

2° Recouvrement des talus.

1° Assainissements.

23. En assignant d'ailleurs pour origine des éboulements un point de la surface des talus, M. de Sazilly n'a pas dû penser qu'il fût utile d'aller chercher les eaux de filtration à une grande distance de cette surface.

D'après ce système, on doit donc d'abord recueillir les eaux intérieures le plus près possible de la surface du talus au moyen d'un caniveau en briques maçonnées avec mortier hydraulique, et rempli de cailloux ou autres matières filtrantes. La figure 11 indique la disposition du travail.

L'arête A de la brique, qui se trouve au-dessous du suintement S, ne doit se trouver qu'à une faible distance de la limite inférieure de ce suintement ; par conséquent, la rigole en briques doit toujours suivre exactement la direction de la zone aquifère.

Aux points bas de la ligne que suit un caniveau, on fait sortir les eaux à l'extérieur par des barbacanes qui les dirigent dans les contre-fossés (fig. 13, 14 et 15).

Pour empêcher l'introduction de matières terreuses parmi les cailloux de la rigole, on recouvre ces derniers avec du gazon posé à plat, l'herbe en dessous (fig. 11).

Lorsque la couche aquifère a une grande épaisseur, ou que les suintements sont très-rapprochés, il suffit alors de modifier la disposition de l'empierrement, comme l'indique la figure 12, et dans ce cas, le revêtement du talus se fait en gazon par assises, ou en pierre sèche.

Il peut arriver aussi que le suintement s'étende sur presque toute la surface du talus ; s'il descend jusqu'à la

base, l'opération n'est pas beaucoup plus compliquée, alors, la couche de matière perméable doit couvrir toute la surface du terrain aquifère. L'empierrement est ensuite maintenu, comme dans le cas précédent, avec un revêtement en gazon par assises ou en maçonnerie de pierre sèche.

2° Revêtements.

24. Pour préserver les talus des influences atmosphériques, M. de Sazilly a recours à l'un des trois moyens suivants :

Revêtements en gazon.

Revêtements en maçonnerie de pierre sèche.

Revêtements en terre végétale.

25. Les revêtements en gazon peuvent être faits soit à plat, soit par assises. Le gazonnement à plat ne peut former un revêtement solide et durable ; on doit donc lui préférer le gazonnement par assises, quoiqu'il soit plus dispendieux. Dans ce cas, les gazons étant coupés de manière qu'ils aient une longueur et une largeur de $0^m,30$, le revêtement aura lui-même une épaisseur de $0^m,30$. Les lits sont disposés normalement à la surface du talus.

Les revêtements en gazon doivent être employés, surtout pour protéger les talus des remblais dans les vallées submersibles.

26. Lorsque les revêtements en maçonnerie ne coûtent pas plus cher que les revêtements en gazon, M. de Sazilly pense qu'ils leur sont préférables sous tous les rapports. « Ils sont presque exclusivement employés

pour la conservation des talus exposés aux courants d'eau rapides, ainsi qu'à l'action des glaces et des vagues [1] ».

Leurs dimensions ordinaires sont celles que nous avons indiquées au numéro 20.

27. Pour recouvrir les talus des tranchées argileuses assainis comme il a été dit au numéro 23, M. de Sazilly a toujours employé de la terre végétale; il donne aux revêtements de cette espèce une épaisseur de $0^{m},25$ à $0^{m},30$, mesurée perpendiculairement à l'inclinaison des talus.

Pour augmenter la solidité des revêtements en terre végétale, on pratique dans le terrain naturel des redans dont la figure 11 donne les dimensions et la direction.

La terre végétale est ensuite disposée sur trois couches d'une épaisseur à peu près égale (p. 128) et pilonnée (fig. 11 et 101).

28. Afin d'empêcher que les talus ne se dégradent par le passage d'une trop grande quantité d'eau lorsqu'il survient de fortes pluies, on dispose sur la hauteur des talus des banquettes de 1 mètre de largeur, généralement placées à 3 ou 4 mètres de distance verticale.

Les banquettes sont revêtues en gazon et ont une pente transversale vers le talus supérieur et une pente longitudinale de $0^{m},02$ à $0^{m},03$ par mètre.

29. De distance en distance, les eaux qui s'écoulent sur les banquettes sont reçues par des cuvettes en maçonnerie qui les dirigent dans les contre-fossés du chemin de fer.

30. Des fossés de ceinture doivent encore être éta-

[1] Mémoire de M. de Sazilly, p. 50.

blis au-dessus des tranchées pour recevoir les eaux qui descendent des coteaux supérieurs; de la même manière que les banquettes, ces fossés déversent leurs eaux dans les cuvettes en maçonnerie.

31. Enfin, les travaux de consolidation des talus sont complétés par des semis et des plantations. Les semis se font principalement avec de la graine de luzerne ; pour les plantations, on a recours, suivant la nature des terrains, à l'acacia, au saule ordinaire, à l'osier, au saule marsault ou au chiendent.

32. La description qui précède contient tout ce qu'il importe de connaître pour avoir une idée suffisamment exacte du système de M. de Sazilly. En terminant cet article, nous devons dire que le mémoire que cet ingénieur a publié contient une foule d'autres observations utiles que nous regrettons de ne pouvoir rapporter ici. Ces observations, déduites de faits incontestables et parfaitement étudiés, seront toujours lues avec fruit par ceux qui s'occupent des travaux de consolidation.

Drainage.

33. Depuis quelques années, de nombreux essais ont été faits sur l'application du drainage à la consolidation des talus. Ces essais, entrepris presque simultanément par un grand nombre d'ingénieurs, ont donné lieu à plusieurs systèmes différents. Nous allons exposer en peu de mots ceux qui nous paraissent mériter une attention plus particulière.

Digitized by Google

1° Drainage superficiel.

34. Les deux principaux modes de drainage superficiel sont les suivants :

1° *Drainage ordinaire ;*

2° *Drainage à la tarière.*

35. *Drainage ordinaire.* — Le drainage ordinaire avec tuyaux a été appliqué de différentes manières à la consolidation des talus. La construction des rigoles d'assainissement varie aussi suivant le mode préféré par les ingénieurs ou par suite de perfectionnements commandés par l'expérience.

36. La forme ordinaire des drains de talus est celle d'un prisme tel que ABCD (fig. 16). Le fond du drain se trouve généralement à une distance de $0^m,80$ à $0^m,85$ du plan du talus. L'inclinaison des parois des rigoles est le plus souvent de 1/5 ; mais elle varie naturellement avec la nature et la consistance des terrains.

Les rigoles de drainage sont quelquefois remplies avec des terres légères et perméables (fig. 17). Le plus souvent, elles sont garnies dans le fond avec des matières filtrantes, telles que du gravier ou des pierres cassées ; cet empierrement est alors recouvert de un ou deux lits de gazon, et la fouille est ensuite comblée avec $0^m,40$ ou $0^m,50$ de terres pilonnées (fig. 18).

On a aussi employé des tuyaux de drainage pour des rigoles d'assainissement de la forme indiquée fig. 19, c'est-à-dire en plaçant les tuyaux dans une rigole en briques creuses maçonnées avec mortier hydraulique.

37. Le diamètre des tuyaux est aussi très-variable ;

on en a employé de 0m,03, de 0m,05 et même de 0m,08 de diamètre intérieur avec manchons.

38. Les dispositions principales des systèmes de drainage ne présentent pas de différences moins importantes. Ainsi, par exemple, des ingénieurs qui adoptent ce procédé de consolidation font suivre aux rigoles la direction des couches aquifères, comme dans le système de M. de Sazilly ; de sorte que les drains sont tout simplement substitués aux rigoles en briques (fig. 20). D'autres ne se proposent que d'assécher les talus sur une certaine profondeur, en établissant des rigoles parallèles sur le plan du talus, et suivant la ligne de plus grande pente. Les drains sont, dans ce cas, espacés de 4, 5 ou 6 mètres, selon la nature des terrains et l'abondance des eaux de filtration. Dans les terrains mélangés et très-humides, on a aussi disposé les drains régulièrement, mais en écharpe.

Dans ces deux derniers cas, les drains de talus communiquent avec un collecteur établi sur la plate-forme des tranchées, soit directement, soit par l'intermédiaire de collecteurs partiels.

Avec la première de ces trois méthodes, les travaux de consolidation sont quelquefois complétés par un revêtement en terres pilonnées (fig. 20). Dans le système des drains régulièrement espacés, les revêtements ne sont admis que quand on juge que le drainage ne suffit pas à l'ameublissement de la surface des talus argileux.

39. Pour la réparation des éboulements, il ne paraît pas que l'on ait employé le drainage comme moyen de consolidation, à moins que ce ne soit après avoir enlevé la masse des terres en mouvement. Les ingénieurs qui donnent la préférence à ce système ont quelquefois re-

Digitized by Google

cours, dans ce cas, à des moyens plus énergiques, tels que de forts revêtements en maçonnerie ou des contre-forts en pierre sèche fort épais, analogues à ceux de M. Collin.

40. Cependant, pour consolider des éboulements de peu d'importance, le drainage a été appliqué à peu près de la manière suivante :

La masse éboulée est découpée par des fouilles transversales de 0m,30, 0m,50 ou 0m,80 de largeur jusque sur le terrain solide ; au fond de ces fouilles sont placés des tuyaux de 0m,03 ou 0m,05 de diamètre avec manchons, et les drains sont ensuite complétés par un empierrement (en gravier, pierres cassées ou moellons) recouvert de gazon et de terre végétale, comme il a été dit précédemment. Les drains communiquent avec un collecteur ; ils sont espacés de 4 à 6 mètres, selon le degré d'humidité des terres. Les empierrements sont destinés à l'assainissement du terrain naturel, à l'asséchement des terres éboulées, et, au besoin, leurs dimensions doivent être calculées de manière qu'ils puissent servir de contre-forts.

41. Le drainage a été aussi appliqué à la consolidation des remblais.

Lorsqu'il s'agit d'établir un remblai sur un terrain tourbeux, le sol est préalablement asséché par des drains transversaux, dont la profondeur dépend de celle des terres humides ; ces drains, auxquels on donne la forme indiquée à la figure 22 ou celle de la figure 23, suivant les difficultés du travail, sont espacés entre eux de 5 à 10 mètres ; ils communiquent avec deux collecteurs construits près du pied des talus, à 1 mètre environ en dehors (fig. 24).

Les eaux reçues par les collecteurs sont dirigées vers le point le plus bas, et sont évacuées par un collecteur général ayant une pente minimum de $0^m,003$, suivant la ligne de plus grande pente du sol. Ce collecteur général est naturellement inutile, lorsque au fond d'un vallon il existe une rivière ou un fossé d'une profondeur suffisante.

42. Afin de prévenir les éboulements dans la masse même du remblai, on draine la plate-forme et les talus en creusant des rigoles transversales d'une longueur égale au développement du profil. Ces rigoles sont simplement remplies de matières perméables, ou bien, elles sont en outre garnies d'une file de tuyaux de drainage. La profondeur des fouilles est de $0^m,30$ à $0^m,50$.

43. On a aussi essayé pour travaux préventifs un système de drainage qui consiste à placer, sur le noyau central des remblais faits au waggon, des files de drains circulaires communiquant à des collecteurs partiels descendant jusqu'au pied des talus.

44. La réparation des éboulements de remblais par le drainage se fait en général d'après la méthode indiquée au numéro 40 pour la consolidation des éboulements de tranchées ; c'est-à-dire que la masse éboulée est découpée par des fouilles de $0^m,50$ à 1 mètre de largeur, que l'on remplit de matières perméables, au-dessous desquelles on a placé des tuyaux de $0^m,05$ à $0^m,10$ de diamètre.

45. *Drainage à la tarière.* — Pour faire de ce nouveau système de drainage une description suffisamment complète, nous aurons encore recours au *Portefeuille de l'ingénieur*.

A la page 136 de cet important ouvrage, nous lisons :
« Ce système consiste à percer les talus de trous faits

avec une tarière, et à y enfoncer une file de drains de 0m,03 ou 0m,05 enfilés sur une perche en bois, que l'on retire ensuite avec précaution, en laissant la file de drains dans le trou. Pour que ce chapelet de drains ne se disloque pas, les manchons qui garnissent les joints sont reliés entre eux par un fil de fer fixé aux drains et aux manchons extrêmes et simplement roulés sur les manchons intermédiaires (fig. 18 et 19).

2° Drainage profond.

45 *bis*. Quelques ingénieurs, tout en reconnaissant avec M. de Sazilly que l'eau est la principale cause des éboulements des talus de déblais, n'ont pas cru que son système présentait des garanties suffisantes de solidité et de durée. Ils ont pensé qu'en assainissant simplement la surface des talus, l'on ne devait pas compter que les travaux seraient toujours et suffisamment à l'abri de l'action des eaux.

Ils ont, en conséquence, cherché à détourner les eaux intérieures au moyen d'une tranchée auxiliaire creusée en amont du talus à dessécher. Au fond de cette tranchée auxiliaire, on a construit un caniveau en briques, que l'on a garni ensuite avec des matières perméables jusqu'à une hauteur déterminée et l'on a remblayé complétement la tranchée d'assainissement avec des terres que l'on en avait retirées (fig. 32).

La rigole en briques a quelquefois été remplacée par un ou plusieurs tuyaux de drainage (fig. 26, 29).

Il est évident que, de quelque façon que l'on ait dis-

posé le fond de la tranchée d'assainissement, les travaux de cette espèce se rapportent toujours au drainage.

La largeur, la profondeur et les différentes dispositions des tranchées auxiliaires doivent nécessairement varier avec la nature des terres, l'abondance des eaux de filtration et la hauteur des talus à assainir. Il est donc assez difficile de préciser à l'avance, d'une manière générale, les travaux qu'il convient d'exécuter pour assainir une tranchée d'après un semblable système (voir aussi la figure 33).

Au lieu de faire la description de plusieurs systèmes de drainage profond, nous nous contenterons de faire connaître, aussi nettement et aussi brièvement que possible, celui qui a été adopté par M. l'ingénieur Daigremont pour la consolidation des talus de différentes tranchées de la ligne de Mulhouse.

46. *Système de M. Daigremont.* — Les travaux de consolidation exécutés d'après le système de M. Daigremont ont pour objet :

1° *La consolidation des talus ;*

2° *L'assainissement de la plate-forme.*

47. *Consolidation des talus.* — Le moyen à employer pour consolider les talus « consiste à ouvrir une saignée étroite parallèle à la tranchée, et seulement du côté où les éboulements sont à craindre, et à recueillir les eaux de suintement au fond de cette saignée [1]. »

Supposons que le terrain se compose de deux couches distinctes, l'une perméable P et l'autre imperméable I (fig. 26). L'on creusera alors la rigole *ab*, de telle

[1] *Nouveau Portefeuille de l'ingénieur*, documents. — Rapport de M. Daigremont, p. 73.

sorte que le point *b* soit un peu plus bas que la ligne CD, qui indique la séparation des terrains de nature différente.

La largeur de la tranchée d'assainissement doit être aussi étroite que possible, et ne pas dépasser $0^m,50$ dans la partie inférieure. Le fond de la rigole est en outre disposé suivant une pente très-régulière, qui ne peut être moindre que $0^m,005$ par mètre.

Les conditions que nous venons de faire connaître relativement aux dimensions de la tranchée d'assainissement expliquent suffisamment la nécessité d'un blindage de la fouille, pendant que l'on effectue le déblai.

Néanmoins, il peut arriver que par une disposition particulière de la rigole, l'on puisse supprimer complétement les blindages. Par exemple, lorsque le terrain qu'il s'agit d'assainir contient peu d'eau, on peut quelquefois creuser la rigole par portions distinctes de 4 mètres de longueur et espacées entre elles de $1^m,50$.

On fait ensuite communiquer les fouilles partielles en perçant à la partie inférieure les massifs qui les séparent sur une longueur de $0^m,75$ de chaque côté (voir le rapport de M. Daigremont au *Nouvevu Portefeuille*).

48. Aussitôt qu'une portion de fouille est achevée, on y pose des tuyaux, et, d'après ce que nous avons dit relativement au règlement du fond de la rigole, ils doivent présenter une pente bien uniforme. Les tuyaux ne sont jamais munis de manchons ; leur diamètre ne doit pas être inférieur à $0^m,063$.

Pour éviter l'engorgement des tuyaux, on garnit chaque joint avec du gazon, de la mousse ou même des roseaux. Le drain est ensuite recouvert d'une suffisante quantité de matières perméables, dont la nature varie

avec l'abondance plus ou moins grande des eaux de filtration. Lorsqu'il y a peu d'eau, on se sert de terre végétale, de gazon ou de sable; mais dans les cas les plus difficiles, il faut employer du gravier ou de la pierre cassée.

Pour que le drain longitudinal dont nous venons de parler reçoive la plus grande quantité d'eau possible, on dispose sur la paroi de la rigole d'assainissement opposée au chemin de fer, des drains partiels placés presque verticalement, comme l'indiquent les figures 26 et 29. Ces drains, qui communiquent au drain longitudinal, s'arrêtent à une distance de 0m,50 à 1 mètre du sol; ils sont espacés entre eux de 2 en 2 mètres. Le diamètre des tuyaux est de 0m,037.

49. La tranchée d'assainissement est ensuite comblée avec les terres du déblai. Ces terres sont pilonnées avec le plus grand soin, pour que l'on n'ait pas à craindre que les eaux de pluies ou des dégels, en traversant les terrains, ne deviennent vaseuses et capables alors de produire l'engorgement des tuyaux. En outre, M. Daigremont pense qu'avec un pilonnage bien fait, on obtient une masse assez imperméable pour arrêter les eaux intérieures qui peuvent filtrer à différentes hauteurs entre la surface du sol et le drain longitudinal, et les forcer à descendre au fond de la rigole.

50. Les fossés de ceinture sont placés un peu en dehors de la rigole d'assainissement (fig. 27), de manière que les filtrations produites par le passage ou le séjour de l'eau dans les fossés soient recueillies par les drains verticaux qui les dirigent dans le drain longitudinal.

51. Il peut se présenter deux cas où les dispositions générales qui précèdent doivent être modifiées :

Digitized by Google

1° Lorsque la tranchée se compose de terrains perméables sur toute sa hauteur;

2° Lorsque la longueur de la tranchée est considérable.

Dans le premier cas : « le point A (fig. 28) doit être descendu assez bas pour que le massif asséché ABEDC, reposant sur le plan incliné AC, et s'appuyant contre la partie solide B'A, AE, ED puisse résister à la poussée des terres situées à gauche de AB' [1]. »

Quand la longueur des tranchées à assainir est considérable, il devient nécessaire d'établir de distance en distance des drains transversaux faisant communiquer le drain longitudinal avec le contre-fossé du chemin de fer (fig. 27).

M. Daigremont prescrit l'établissement des drains transversaux dans le cas dont il s'agit pour les raisons suivantes :

« Les eaux de filtration, suivant le drain longitudinal, se partagent en deux directions opposées au point culminant de la tranchée, et ne s'écoulent que par les deux extrémités des tuyaux, et si l'écoulement cessait par hasard à l'une de ces extrémités, on reconnaîtrait bien que le drain est obstrué, mais on ne pourrait pas savoir en quel point et l'on serait exposé à recommencer un travail coûteux [2]. »

52. *Drainage de la plate-forme.* — M. Daigremont a fait drainer la plate-forme de toutes les tranchées argileuses de son arrondissement pour s'opposer à l'action ramollissante des eaux pluviales et des eaux de filtration

[1] *Nouveau Portefeuille de l'ingénieur*, documents. — Rapport de M. Daigremont, p. 73.

[2] *Ibid.*, p. 77.

lorsqu'elles coulent abondamment dans les contre-fossés, et surtout pour empêcher l'effet de la pression d'une nappe d'eau qui n'a pas été coupée par la tranchée.

53. Pour préserver la plate-forme des tranchées des eaux pluviales ou de filtration, on dispose sous chacun des contre-fossés un drain, dont la figure 28 indique les dispositions principales.

La profondeur des drains de plate-forme doit être, en général, de $1^{m},20$. Les tuyaux sont recouverts d'une quantité plus ou moins grande de matières perméables, et la fouille est ensuite comblée avec des terres parfaitement bien pilonnées.

Les drains de plate-forme reçoivent, en outre, les eaux de filtration qui lui sont amenées directement par les drains transversaux. « Enfin, tous les 100 mètres, on placera un petit regard maçonné au-dessous des drains de plate-forme, afin de recueillir les dépôts qui pourraient se former, et s'assurer si tout le système fonctionne bien [1]. »

54. Après s'être assuré qu'il existe sous la plate-forme une couche aquifère, telle que AB (fig. 29), le drain de plate-forme établi au pied du talus le plus élevé est alors descendu jusqu'au milieu de la couche aquifère. L'effet de cette nouvelle disposition doit être d'empêcher que la plate-forme ne soit soulevée ou ramollie par les eaux de la nappe AB. On suppose qu'il y a soulèvement quand le terrain en T est imperméable, et que ce même terrain est réduit en bouillie quand il est perméable.

[1] *Nouveau Portefeuille de l'ingénieur*, documents. — Rapport de M. Daigremont.

Galeries de mines.

55. Le système de consolidation des talus qui nous paraît le plus nouveau est, sans contredit, celui qui a pour objet d'assainir les terrains au moyen de galeries de mine. Ce système, qui a été employé sur une grande échelle pour la consolidation des tranchées et des remblais de différentes parties de la ligne de Mulhouse, a déjà acquis une assez grande importance pour que nous croyions utile d'en faire une description particulière.

Ainsi que l'indiquent les figures 30 et 31, le profil en travers d'une galerie est un trapèze dont les dimensions sont calculées de manière qu'un ouvrier puisse s'y mouvoir avec assez d'aisance, et qu'il soit facile de transporter à la brouette les terres provenant du déblai.

Le boisage est à peu près semblable à celui des galeries ordinaires pour l'exploitation des mines ; cependant, quand on travaille dans un terrain résistant, on supprime la semelle sur laquelle s'appuient d'ordinaire les deux montants.

L'équarrissage des pièces composant les cadres de blindage est d'environ 10/10.

56. Pour assainir une tranchée d'après ce système, on creuse de distance en distance des galeries souterraines qui se dirigent dans les terres jusqu'à une certaine profondeur, avec une direction perpendiculaire à l'axe du chemin de fer. Ces galeries sont ensuite complétement remplies de moellons bruts sur toute leur longueur ; cet empierrement se termine à la surface du talus par un mur en pierre sèche (fig. 30).

La distance qui sépare deux galeries consécutives paraît varier avec la nature plus ou moins mauvaise des terrains à assainir, l'abondance plus ou moins grande des eaux de filtration et la direction plus ou moins régulière des couches de nature différente que présentent les terrains sur toute la hauteur des talus. Ainsi, à la tranchée du Dockenberg, les galeries se trouvent à 20 mètres les unes des autres ; à la tranchée des Barres, elles ne sont espacées que d'environ 15 mètres.

57. Nous ne pensons pas qu'il y ait de règle bien arrêtée pour déterminer à quel point de la hauteur d'un talus on doit pratiquer une galerie. Il nous semble que l'on doit, autant que possible, chercher à suivre la direction d'une couche aquifère. Cependant les figures 20, 21 et 24 (Pl. A^9) du *Nouveau Portefeuille de l'ingénieur* montrent que des galeries souterraines ont été creusées à la tranchée du Dockenberg, à la partie inférieure d'une couche argileuse reposant sur un banc de sable (fig. 30 et 31).

La longueur des galeries est aussi très-variable ; elle est de 20 mètres pour celles de la tranchée du Dockenberg ; celle des galeries de la tranchée des Barres est de 10 à 15 mètres.

Quelle que soit la profondeur à laquelle on suppose que les galeries sont creusées, on n'a sans doute pas cru que l'on obtiendrait un assainissement complet des talus, lorsque ces galeries sont très-éloignées les unes des autres, quand elles se trouvent à 20 mètres de distance, par exemple. Dans ce cas, le système a été complété par une galerie longitudinale A (fig. 31), qui fait communiquer entre elles les galeries transversales par leur extrémité opposée au chemin de fer. Cette nouvelle galerie

reçoit les mêmes dispositions et se fait en même temps que les précédentes.

58. Lorsqu'il s'agit de la consolidation des remblais, la forme des galeries est la même que pour les tranchées. Elles sont pratiquées ou dans le sous-sol ou dans la masse même du remblai.

Les seules modifications à faire au système précédemment décrit ne peuvent consister que dans les dispositions particulières des blindages auxquels on doit avoir recours dans des circonstances difficiles, que l'on ne peut guère prévoir.

Digitized by Google

CHAPITRE II.

IMPORTANCE DES TRAVAUX DE CONSOLIDATION.

---

60. L'importance des travaux de consolidation s'explique tout naturellement par le but auquel ils doivent atteindre. Ce que nous avons dit au chapitre premier doit donc suffire pour faire comprendre jusqu'à quel point le choix d'un bon système de consolidation des talus doit préoccuper l'attention des constructeurs.

On sera peut-être étonné de nous voir prétendre que de simples travaux de terrassement peuvent souvent devenir d'une importance de premier ordre.

Nous avons dit que les travaux de consolidation des talus doivent procurer des économies et assurer la solidité des tranchées et des remblais.

Aujourd'hui, les travaux qui semblent les plus faciles, et dont l'exécution paraît présenter le plus de simplicité quand il s'agit, par exemple, de la construction des chemins de fer, ce sont, sans contredit, les travaux de terrassement. Cependant, il est une remarque que tout le monde a pu faire, surtout pendant ces dernières années. En parcourant les journaux qui rendent compte de

Digitized by Google

l'avancement de la construction des chemins de fer, on est frappé de cette observation, que, généralement, on n'attend plus que l'achèvement des travaux de terrassement pour mettre les lignes en exploitation. Comment peut-on expliquer que les terrassements des chemins de fer ne sont souvent terminés qu'après les travaux d'art, dont quelques-uns présentent pourtant quelquefois tant de difficultés? On emploie aux terrassements un grand nombre d'ouvriers, et les entrepreneurs disposent tous d'un matériel suffisant; le mode d'exécution du travail est toujours conçu de manière qu'il soit possible d'obtenir la plus grande somme de travail dans un temps donné; cependant, comme nous venons de le dire, les travaux d'art les plus importants sont quelquefois terminés avant que la plate-forme des terrassements permette de poser les voies de fer.

Il faut évidemment admettre que les perfectionnements apportés pour les travaux de terrassement ne sont plus en rapport avec ceux qui ont été faits pour les travaux d'art. Les ingénieurs chargés de la direction des travaux délaissent peut-être un peu trop les questions qui ont rapport aux terrassements pour concentrer toute leur attention à l'exécution des travaux d'art.

Il ne serait pourtant pas juste de dire que toutes les questions relatives aux grands travaux de terrassement n'ont pas encore été bien étudiées. On trouve dans le *Nouveau Portefeuille de l'ingénieur* des notes fort intéressantes sur différents modes d'exploitation adoptés par plusieurs chefs de service de l'entreprise Parent, si compétents dans cette matière, et l'on sait que ce qui concerne la stabilité et la consolidation des talus fait depuis longtemps l'objet des recherches de nos ingénieurs les

plus distingués, qui ont laissé sur ce sujet des ouvrages d'un haut intérêt.

On doit aussi reconnaître que de nombreux essais ont été faits depuis peu de temps par beaucoup d'ingénieurs pour arriver au même résultat. Mais on doit regretter qu'un très-grand nombre de constructeurs, au lieu de faire des efforts pour le perfectionnement des systèmes établis, s'obstinent à penser que les questions les plus délicates qui se présentent dans l'exécution des travaux de terrassement ne peuvent être résolues que par des hommes spéciaux.

L'exposé de notre système, que nous entreprendrons un peu plus loin, démontrera, nous l'espérons, que l'on a généralement tort de redouter des difficultés que nous parvenons à surmonter par des moyens d'une très-grande simplicité.

Les grands travaux de terrassement sont ordinairement entrepris par des Compagnies industrielles qui cherchent tout naturellement à obtenir la rémunération des avances qu'elles doivent faire pour l'exécution des travaux de premier établissement.

Les économies qu'il est permis de réaliser pendant la construction des travaux diminuent d'autant les sacrifices que s'imposent les Compagnies, et partant les bénéfices deviennent proportionnellement plus considérables. Il nous est pour le moment impossible d'apprécier les avantages que l'on doit attendre d'un bon système de consolidation des talus ; mais nous pouvons avancer qu'ils sont très-importants. Si l'on admet qu'au moyen de quelques travaux préventifs, il est possible d'éviter les éboulements de talus de tranchées et de remblais, et que l'on puisse avancer l'époque de l'exploitation des

chemins de fer, on comprendra aisément qu'il doit en résulter une diminution de dépenses et une augmentation de bénéfices.

Mais la question d'économie doit s'effacer devant celle qui a pour objet la solidité des travaux ; aussi pensons-nous qu'un système de consolidation qui n'offre pas des garanties suffisantes de solidité doit être abandonné, et qu'on doit lui préférer ceux qui, en apparence, paraissent moins rationnels, mais qui procurent d'une manière certaine la solidité des constructions.

Les avantages que nous venons d'énumérer doivent se rencontrer dans tous les systèmes de consolidation des talus. Nous n'hésitons pas à dire qu'on ne les trouvera nulle part ailleurs aussi complets que dans celui qui fait l'objet de cet ouvrage.

Il a été constaté par beaucoup d'ingénieurs que notre système a réussi partout où nous l'avons employé nous-même ; mais nous savons aussi qu'un assez grand nombre d'autres n'ont pas cru lui accorder une confiance absolue, parce qu'ils ont pensé que son usage devait être trop restreint, et qu'il était insuffisant dans un grand nombre de cas. Nous croyons donc utile de faire connaître en peu de mots, avant d'en commencer la description, les avantages qu'il peut procurer et l'étendue de son application.

61. *Bonne exécution des travaux.* — Dans les tranchées argileuses, en recueillant les eaux qui suintent à la surface des talus avant qu'elles aient pu opérer le ramollissement des terres, on évite les difficultés quelquefois très-sérieuses que présente le transport d'une quantité plus ou moins considérable des boues qui se forment d'ordinaire sur les talus et au fond des tran-

chées. Par conséquent, les remblais faits avec des terres toujours saines présenteront beaucoup plus de garantie de solidité.

Lors même que l'on ne serait pas parvenu à n'avoir que des terres suffisamment sèches au déblai, nos procédés de consolidation permettront toujours d'employer pour la construction des remblais des terres de toutes espèces, quel que soit, d'ailleurs, leur degré de consistance. On évite donc ainsi des travaux inutiles, qui consistent dans le transport en dépôt des terres argileuses trop humides, et l'on est encore dispensé d'avoir recours à des surcroîts de déblais que l'on serait forcé d'effectuer pour compléter les remblais.

62. *Economie de la dépense.* — Au moyen des travaux préventifs de consolidation, on n'a plus à craindre que des éboulements se produisent ; par conséquent, les talus conserveront toujours la forme et l'inclinaison qu'on leur a données, et par suite aucune dépense imprévue ne sera nécessitée par une augmentation du cube des tranchées.

Au lieu de donner aux talus de déblais des pentes trop douces et de rapprocher outre mesure les banquettes dans le but d'obtenir une inclinaison définitive très-faible, lorsque l'on craint que des éboulements viennent à se produire, on s'en tiendra toujours, même dans les cas les plus difficiles, à l'inclinaison généralement adoptée de 1/2 de base pour 1 mètre de hauteur, avec banquettes raisonnablement espacées, et l'on évitera encore un surcroît de dépenses résultant d'une augmentation de déblai.

Les travaux de consolidation exigent peu de réparations, et l'entretien des talus consolidés ne doit, d'ail-

Google

leurs, durer que pendant une année ou deux; les dépenses que l'on est alors obligé de faire sont réellement très-faibles et souvent même insignifiantes.

Nous devons ajouter encore que les dispositions que nous donnons aux talus favorisent la végétation des plantes que l'on y a semées, et que le produit de la vente des récoltes que l'on obtient est souvent assez abondant et peut même payer par année 1/200 de la dépense totale des travaux de consolidation.

63. La quantité des boues argileuses que l'on transporte des tranchées devant être très-faible, il en résulte que les remblais faits presque exclusivement avec des terres saines en deviendront d'autant plus solides que l'entretien des voies sera plus facile et moins coûteux, et qu'enfin les éboulements qui pourraient se produire seront beaucoup moins importants.

64. *Economie de temps.* — L'économie du temps reconnaît naturellement pour causes les mêmes que celles qui produisent une économie de dépenses; elle résulte de la facilité que l'on obtient pour effectuer la plupart des travaux, et de la suppression d'un grand nombre de manœuvres inutiles.

Ainsi, pour les tranchées, aucun surcroît de déblai résultant de la production des éboulements; facilité des transports et de l'entretien des voies de service par suite de l'absence des terres argileuses fluides. Pour les remblais, travail moins difficile à cause de la consistance des terres et, par conséquent, plus tôt terminé; et de plus, travail toujours définitif.

65. *Certitude du succès.* — Depuis 1844, nous avons employé notre système pour la consolidation de plus de 1 million 1/2 de mètres carrés de talus dans les circon-

stances les plus difficiles et les plus diverses; les résultats que nous avons obtenus et une conviction formée par de nombreuses observations nous donnent le droit de dire que ce système présente aujourd'hui toutes les garanties possibles de succès. Nous verrons plus loin combien sont peu compliqués les moyens dont nous recommandons l'emploi, soit qu'il s'agisse de terrains fortement inclinés, de terrains argileux ou de sables mouvants; et les nombreux exemples que nous citerons à l'appui de notre opinion suffiront, sans doute, pour démontrer l'efficacité de notre système dans tous les cas.

66. *Dispense des grands moyens de consolidation.* — Beaucoup d'ingénieurs parmi ceux qui se sont occupés de travaux de consolidation ont recommandé de déblayer les terres éboulées avant d'opérer la réparation des talus; ceux qui ont cherché les moyens de se dispenser de ce travail n'ont obtenu qu'un succès douteux. L'on conçoit que l'enlèvement des éboulis est toujours un travail très-difficile, et, pour peu que les éboulements aient quelque importance, il peut devenir extrêmement dispendieux; il est même quelquefois dangereux, quand il s'agit particulièrement des talus de remblais. Nous avons l'habitude de ne jamais déblayer les masses éboulées toutes les fois qu'un éboulement présente un cube assez considérable, et que sa forme ne permet pas de le considérer comme un éboulement de surface.

67. *Faibles inclinaisons de talus.* — On voit assez fréquemment donner aux talus argileux des inclinaisons très-faibles de 2, 2 1/2 et même 3 mètres de base pour 1 de hauteur. Outre que de pareils moyens ne sont pas toujours suffisants pour empêcher la production des éboulements, ils entraînent à des dépenses considé-

rables, ainsi que nous l'avons dit précédemment. Une inclinaison de 1 1/2 de base pour 1 de hauteur nous a toujours paru suffisante.

68. *Murs de soutènement.* — Les murs de soutènement, dont la construction peut quelquefois être très-utile, mais seulement dans les cas les plus rares, ne sont pas non plus toujours suffisants pour assurer la solidité des terres. Ils sont, d'ailleurs, fort coûteux, et leur établissement présente souvent de très-grandes difficultés. Ce n'est donc pas sans motifs que, depuis plusieurs années, bon nombre d'ingénieurs ont cherché à se dispenser de ce moyen pour arriver à la consolidation des talus. On verra plus loin comment on parvient à remplacer avantageusement les murs de soutènement dans les différents cas où l'on est obligé d'opposer à la poussée des terres une résistance assez puissante pour assurer la stabilité des masses.

69. *Tunnels.* — La construction des voûtes continues pour consolider les tranchées est un moyen infaillible sans doute ; mais les dépenses énormes que nécessite un semblable travail expliquent aisément pourquoi ce n'est que par exception que l'on y a recours. Evidemment, ce mode de consolidation n'est pas en rapport avec les difficultés à vaincre ; et ceux que nous proposons, pour être plus simples, n'en sont pas moins suffisants.

70. *Déviations de lignes.* — Enfin, nous croyons qu'au moyen de l'application de notre système de consolidation, notre opinion sur les différentes causes d'éboulement et leur mode de production étant admise, l'on parviendra toujours, dans les circonstances les plus difficiles, à assurer la solidité des talus. Quelquefois, il survient, pendant ou après le déblai des tranchées, des

éboulements tellement considérables, que l'on croit devoir recourir à un nouveau tracé de la ligne pour éviter des obstacles que l'on suppose insurmontables.

Nous ne connaissons bien qu'un exemple d'un cas semblable, c'est celui de la tranchée de Voussy (ligne de Strasbourg). Après bien des efforts pour arriver à la consolidation du talus par les moyens qui paraissaient les plus énergiques, la tranchée a été abandonnée ; on a modifié le tracé de la ligne, et l'on s'est cru forcé d'en adopter un autre fort désavantageux passant sur le bord de la Marne et formé de courbes et contre-courbes d'un faible rayon.

Nous avons dit ailleurs [1] que la tranchée de Voussy n'aurait pas présenté des difficultés bien sérieuses, si l'on avait employé nos procédés de consolidation, et nous avons nous-même fixé le chiffre approximatif de la dépense nécessaire au moment de la construction du chemin de fer et même celle qui nous paraîtrait suffisante aujourd'hui, s'il s'agissait de consolider cette tranchée.

Nous savons que les éboulements qui présentent des difficultés telles que l'on se croit forcé d'avoir recours à des déviations de la ligne, n'ont pas tous la même origine ; mais de quelque nature que soient les causes des grands éboulements, elles peuvent toujours être connues à l'avance, et il n'est pas impossible de les faire disparaître, ou bien d'exécuter des ouvrages qui en neutralisent les effets.

[1] *Nouveau Portefeuille de l'ingénieur*, documents.

CHAPITRE III.

CAUSES DES ÉBOULEMENTS.

Observations préliminaires.

71. Les terres jouissent de plusieurs propriétés particulières, dont la plupart les distinguent des autres corps solides ; ce sont :

1° La facilité plus ou moins grande avec laquelle elles absorbent l'eau ;

2° Le changement de volume qui s'opère lorsqu'elles sont en contact avec l'eau ;

3° Une force de cohésion plus ou moins grande, selon la nature des terres et leur degré d'humidité ;

4° Une résistance de frottement variable avec la quantité d'eau dont elles sont pénétrées ;

5° Un degré de perméabilité différant, soit avec la nature des terres, soit en raison de la quantité d'eau qu'elles contiennent.

72. Avant de passer à l'examen de ces diverses propriétés, il est nécessaire de remarquer que les terres

Digitized by Google

doivent être considérées sous les deux aspects suivants :

1° Terrains à leur état naturel, c'est-à-dire tels qu'on les rencontre au déblai des tranchées, lorsqu'ils n'ont pas subi les effets des influences atmosphériques ;

2° Terrains de remblais, ou ayant subi les effets des influences atmosphériques.

Il ne paraît pas que l'on ait jusqu'ici tenu assez compte de cette distinction dans les expériences qui ont été faites sur les différentes propriétés des terres. C'est peut-être ce qui explique pourquoi les résultats auxquels ces expériences ont abouti n'ont jamais pu inspirer une confiance suffisante aux constructeurs.

En général, les évaluations auxquelles on est arrivé après les essais qui ont été faits, principalement pour déterminer la cohésion et le frottement des terres, ne peuvent s'appliquer qu'aux terrains de remblais, et comme les résultats que l'on a obtenus sont, d'ailleurs, encore très-incomplets, l'on s'exposerait à bien des mécomptes si l'on s'avisait de prendre pour base des calculs les chiffres indiqués par les ingénieurs, même après les expériences qu'ils ont faites avec toute l'habileté et tout le soin possibles.

73. *Terrains de déblai.* — Les terrains dans lesquels les tranchées sont généralement ouvertes proviennent, ou des dépôts de sédiment, ou bien ils sont, comme quelques espèces d'argiles, le résultat de la décomposition des roches primitives sous l'influence d'une forte pression ou d'une atmosphère différente de la nôtre [1].

Dans le premier cas, les molécules tenues en suspen-

[1] Beudant, *Minéralogie*, 277, et *Géologie*, 103.

Digitized by Google

sion dans l'eau ont dû se précipiter d'une manière assez lente, pour qu'en vertu de leur mobilité, les espaces qu'elles laissaient entre elles fussent aussi faibles que possible. Les pressions qu'en outre elles ont dû supporter doivent avoir eu pour résultat un rapprochement plus intime encore, tout à fait favorable à une augmentation de la force de cohésion qui les unissait. Aussi, les terrains vierges ont-ils une texture très-serrée qu'on ne retrouve jamais dans les terrains de remblai, même après que le tassement a pu s'opérer. Mais, par suite de la manière dont les dépôts de sédiment se sont formés, les terrains se composent le plus souvent de couches successives de nature différente, disposées plus ou moins régulièrement, suivant l'état d'agitation de la masse liquide qui les contenait.

Les terrains de sédiment doivent donc être doués d'une force de cohésion assez considérable et composés de couches successives généralement irrégulières, de nature, d'épaisseur et de consistance très-variables. Nous ferons remarquer encore, mais sans pouvoir l'expliquer, que, principalement dans les terrains argileux dans lesquels on ne peut reconnaître une structure régulière, on observe très-souvent des surfaces lisses qui divisent très-nettement les masses; ces plans de séparation, que l'on nomme quelquefois plans de clivage, sont tapissées d'une matière qui a la plus grande analogie, quant à la forme et à la couleur, avec le chevelu de la racine des plantes. Ces herborisations observées au microscope paraissent composées de grains siliceux très-petits. Cette observation, d'accord avec l'opinion de M. Beudant sur les cristallisations de forme dendritique[1],

[1] Beudant, *Minéralogie*, p. 49.

n'a ici d'autre but que de prouver que les bancs argileux sont divisés en un grand nombre de parties par des fissures qui se dirigent en tous les sens et qui, dans certaines circonstances, viennent puissamment en aide aux causes qui tendent à détruire la cohésion des terres.

Il est reconnu que les terrains qui résultent de la décomposition chimique des roches primitives sous des influences diverses, telles que la chaleur, une pression considérable ou une atmosphère contenant des principes capables d'agir puissamment sur quelques éléments des roches feldspathiques, ont conservé la structure des roches dont ils proviennent. On rencontre assez souvent des terrains argileux doués d'une structure régulière ; comme ce caractère particulier est quelquefois assez important pour que l'on en tienne compte lorsqu'il s'agit de la consolidation des talus, sous ce rapport, nous croyons utile d'indiquer les dispositions principales que l'on remarque le plus fréquemment dans les terrains de cette espèce.

A la tranchée de la Montagne (ligne de Mulhouse), la couche d'argile marneuse que l'on rencontrait sur les deux tiers de la hauteur du talus se décomposait avec une extrême facilité en cubes assez réguliers, ayant leurs quatre faces latérales toujours disposées verticalement (fig. 34).

A la tranchée de Ritterthal (ligne de Wissembourg), et à l'emprunt du Bricon (ligne de Mulhouse), le terrain se divisait en parties de forme à peu près semblable par des joints obliques produisant des octaèdres assez réguliers (fig. 35).

Très-fréquemment les couches d'argile sont schis-

teuses et les joints parallèles suivent la direction de la couche elle-même (fig. 36).

Il peut arriver cependant que les plans de joints soient plus ou moins obliques par rapport à la direction générale des couches ; mais ce cas est assez rare.

Quelquefois, l'on rencontre des couches argileuses ayant à peu près le même aspect que l'éponge. Nous avons remarqué particulièrement des argiles de cette sorte à la tranchée du Riedling (ligne de Wissembourg) et de la Vinoterie (ligne de Mulhouse). Dans cette dernière tranchée, il s'en trouvait une couche qui était assez peu compacte pour donner passage à une certaine quantité d'eau de filtration et constituer un véritable banc de suintement.

74. *Terrains de remblai.* — Les différentes manœuvres auxquelles les terrains de remblai sont soumis, piochage, chargement, transport, etc., doivent avoir pour effet de désagréger les terres et de produire dans les masses remaniées des vides plus ou moins importants. Il en résulte, par conséquent, une augmentation de volume que l'on appelle foisonnement des terres ; on estime que pour une même masse, le volume augmente en moyenne de 1/10 au remblai. Par suite de cette augmentation de volume les vides qui existent dans les terrains en remblai deviennent assez considérables pour que l'attraction moléculaire ne s'exerce plus que sur une quantité beaucoup plus faible des parties d'une même masse ; par conséquent, la cohésion des terres doit être notablement amoindrie ; leur poids est diminué ; elles absorbent une plus grande quantité d'eau ; en un mot, il doit exister en tous points une différence

sensible entre les terrains de déblai et les terrains de remblai.

Les terrains susceptibles de se désagréger au contact de l'air éprouvent un changement notable qui les rend semblables aux terrains de remblai, par suite du foisonnement et du retrait produits par l'humidité et la sécheresse. Ces deux actions contraires doivent nécessairement avoir pour résultat la désagrégation des terres et la production de crevasses plus ou moins larges et profondes, suivant la nature du terrain, le nombre et la disposition des fissures naturelles dont il a été parlé précédemment. Or, il est bien évident que lorsqu'une rupture a eu lieu dans un terrain naturel, quel que soit le peu de largeur de la crevasse, il n'est pas possible de supposer que le rapprochement des parties séparées puisse se faire d'une manière si parfaite que chaque molécule des surfaces AB, A'B' (fig. 37) revienne à sa position primitive, de manière que l'intensité de la force de cohésion reste la même, les distances infiniment petites n'étant pas plus faibles que précédemment.

Par conséquent, les terrains naturels, en subissant les effets des influences atmosphériques, augmentent de volume, et par cela même deviennent plus perméables; leur force de cohésion diminue et ils passent à un état à peu près semblable à celui que nous avons indiqué pour les terrains de remblai.

75. *Terres pilonnées.* — Nous venons de voir que les terrains ameublis par le travail de l'ouvrier ou par les alternatives de sécheresse et d'humidité, ou bien encore par l'effet de la gelée, ne peuvent plus revenir d'eux-mêmes à leur état primitif; leur mode d'agrégation est complétement changé; leur structure est pour toujours

détruite, leur force de cohésion considérablement amoindrie.

Le mode d'agrégation des terres et leur structure se sont produits dans des circonstances et sous l'influence de certaines forces qui ne peuvent plus se renouveler; mais la cohésion n'étant qu'une force s'exerçant sur les molécules des corps placés à des distances insensibles, il est toujours possible de la rendre au moins en partie aux terres qui l'ont perdue.

Ce résultat doit donc s'obtenir en opérant le rapprochement de leurs parties constituantes. C'est pourquoi la cohésion augmente à mesure que s'effectue le tassement des terres sous l'influence de la pesanteur; c'est aussi pour cette raison que les remblais dont les transports ont été faits au tombereau, ou mieux à la brouette, ont d'abord plus de solidité que ceux où l'on adopte le transport au waggon.

Le procédé le plus praticable et le plus efficace pour augmenter la cohésion des terres, c'est sans contredit le pilonnage. Par ce moyen, on n'arrive jamais, dans les travaux de terrassement, à produire une pression égale à celle de la pesanteur, puisque les terres les mieux pilonnées éprouvent toujours un tassement plus ou moins sensible au bout de quelques mois; mais ce travail fait acquérir, principalement aux terrains argileux, des propriétés nouvelles dont nous tirons un bon parti pour la consolidation des talus.

L'argile suffisamment corroyée et séchée d'une manière convenable acquiert une force de cohésion très-considérable, et l'on sait toutes les ressources que l'on tire de cette propriété de l'argile.

Les terrains argileux, lorsqu'ils sont bien pilonnés,

avec un degré convenable d'humidité, peuvent devenir aussi consistants que la brique crue ; ils sont alors doués d'une élasticité très-appréciable. Les diverses manipulations auxquelles ils ont été soumis ont encore pour effet d'opérer un mélange complet des terres de toute espèce. Les propriétés qui distinguent les terres pilonnées des terrains naturels sont donc : plus d'homogénéité dans toute la masse, la suppression des fissures ou des plans de joints qui divisent les couches naturelles, une élasticité très-sensible. La cohésion des terres corroyées approche de celle des terrains vierges, sans cependant pouvoir jamais lui être égale ; mais cette force est toujours plus énergique que dans ces derniers, par suite de la solidarité qui s'établit entre toutes les molécules d'une même masse, lorsqu'il s'agit de la résistance à une forte poussée.

Ajoutons encore que les terres pilonnées sont très-favorables à la végétation ; nous dirons plus loin, en nous appuyant sur des faits positifs, les avantages que l'on peut recueillir des semis faits sur des talus en terres pilonnées convenablement.

76. *Absorption de l'eau. — Déblais.* — La propriété que possèdent les terres d'absorber l'eau avec plus ou moins de facilité paraît dépendre principalement de leur degré de porosité ; cette faculté doit donc être généralement, pour les terrains naturels, en rapport avec le volume de leurs molécules. C'est ainsi que le sable formé de grains assez volumineux pour qu'on puisse les distinguer à l'œil absorbe très-promptement une grande quantité d'eau, pendant que l'argile composée de parties extrêmement petites, impalpables, n'absorbe que très-lentement l'eau avec laquelle elle est en contact. On

peut remarquer aussi que, même pour les différentes espèces de sable, plus le grain est grossier, plus l'eau est absorbée facilement ; et qu'au contraire, plus le grain est fin, plus cette absorption de l'eau se fait lentement.

Les terrains à leur état naturel n'absorbent qu'une quantité d'eau déterminée ; pour le sable, par exemple, lorsqu'il contient une quantité suffisante de ce liquide, il en perd l'excédant en vertu de sa perméabilité. Il n'en est pas de même pour l'argile, qui, une fois saturée d'humidité, devient presque totalement imperméable.

La quantité d'eau que les terres peuvent contenir est naturellement très-variable, mais elle est toujours très-importante. M. Leclerc, ingénieur des ponts et chaussées, prétend que le sol, n'étant qu'à l'état de moiteur, contient une quantité d'eau qui varie de 15 à 23 pour 100 de son poids ; la proportion en volume serait donc de 0,225 à 0,345 par mètre cube. On peut juger par ce chiffre combien doit être grande la quantité d'eau contenue dans les terrains humides que l'on rencontre fréquemment en déblayant les tranchées ; cette quantité, que nous ne pouvons déterminer, doit être évidemment très-considérable.

77. *Remblais.* — Conformément au principe énoncé plus haut, les terrains de remblai ou désagrégés par les influences atmosphériques absorbent une très-grande quantité d'eau. Cela s'explique facilement par les crevasses nombreuses qui les divisent ou par l'existence d'un grand nombre d'interstices dont le volume total peut quelquefois être égal à près de la moitié du volume général des remblais. M. de Sazilly suppose en effet qu'un remblai en mottes de glaise pure déchargées

Digitized by Google

au waggon contient des vides très-considérables dont le volume peut être en moyenne 0m,46 par mètre cube. Il est facile de comprendre d'après cela quelle énorme quantité d'eau peut être contenue dans un semblable remblai.

Les terres perdent l'eau qu'elles contiennent, soit en vertu de leur perméabilité, soit par l'évaporation. Elles parviennent à s'assécher avec une facilité qui est le plus souvent en proportion de la promptitude avec laquelle elles absorbent l'eau. L'argile et le sable sont donc encore sous ce rapport les deux types opposés. Au déblai, l'argile n'abandonne jamais toute l'humidité qu'elle a absorbée; elle ne perd que l'excédant d'une quantité qu'elle retient pour ainsi dire à l'état de combinaison. Le sable lui-même conserve toujours une certaine portion de son humidité; il ne pourrait le plus souvent la perdre entièrement sans que son état soit modifié.

Les remblais argileux qui contiennent beaucoup d'eau ne parviennent à s'assainir à une certaine profondeur qu'après un très-long espace de temps. Nous avons même pu remarquer, il y a quelques années, qu'un remblai argileux fait pendant l'hiver contenait encore une grande quantité de terres tout à fait fluentes; lorsque nous en avons entrepris la consolidation pendant l'automne suivant, il renfermait même des morceaux de glace assez volumineux, qui se trouvaient exactement dans le même état qu'à l'époque où ils avaient été déposés avec les terres du remblai.

Quant aux terrains qui se composent d'un mélange d'argile et de sable, il est assez naturel de supposer qu'ils doivent absorber l'eau d'après la proportion de sable et

la retenir en raison de la quantité d'argile qu'ils contiennent.

78. *Cohésion.* — La force de cohésion dont les terres sont ordinairement douées est généralement très-faible lorsqu'elles sont privées d'humidité ou lorsqu'elles contiennent une trop grande quantité d'eau.

Le moment où cette force agit avec le plus d'intensité est fort difficile à apprécier, mais il nous paraît impossible de déterminer avec une certaine précision le degré d'humidité auquel répond le maximum de la force de cohésion; elle varie nécessairement avec la nature des terres, leur mode d'agrégation, le volume de leurs molécules et leur texture plus ou moins serrée.

L'argile est de toutes les terres celle qui possède le plus de cohésion; le sable est une de celles où cette force est généralement moindre. Cependant, l'on rencontre assez fréquemment des bancs de sable presque pur à grains très-fins et très-serrés, qui offrent une grande ténacité et dont le piochage est presque aussi difficile que pour certains terrains argileux.

En général, la cohésion des terres est proportionnée à la quantité d'argile qui entre dans leur composition; elle est plus faible dans les terrains de remblai que dans les terrains naturels, mais elle augmente d'une manière très-remarquable par le pilonnage, qui opère le rapprochement des molécules, supprime les fissures et produit en outre plus d'homogénéité dans les masses, sous le rapport de la consistance et de la nature des terres.

Lorsque des terrains pilonnés perdent tout ou partie de leur eau de combinaison, il en résulte un retrait considérable qui peut aller jusqu'à 0^{m},16 du volume primitif pour l'argile. On peut expliquer jusqu'à un certain point

cette contraction, en supposant que par suite de la suppression de l'eau, il se produit des vides qui se remplissent par le déplacement des molécules voisines. Il s'ensuit que dans ce cas, la force de cohésion ne peut que s'augmenter.

Dans les terrains vierges, si le même mouvement venait à se produire, il en résulterait évidemment la dégradation des terres, qui passeraient alors à un état semblable aux terrains de remblai, et la cohésion s'amoindrirait.

La sécheresse produit dans les terrains de remblai une désagrégation plus complète des fragments plus ou moins volumineux qui n'ont pu être brisés par les différentes manœuvres auxquelles ils ont été soumis. Les vides les plus grands diminuent pendant qu'il s'en produit une infinité d'autres plus petits, mais trop considérables encore pour que l'attraction moléculaire puisse s'exercer avec beaucoup d'intensité ; dans ce cas, alors, la cohésion est aussi diminuée.

L'introduction dans les terres d'une trop grande quantité d'eau a aussi pour effet d'amoindrir leur force de cohésion, mais ceci n'arrive généralement que pour les terrains de remblai ou désagrégés par les influences atmosphériques. Car l'argile à l'état naturel, lorsqu'elle est saturée d'humidité, devient à peu près imperméable ; les autres espèces de terrains laissent échapper la quantité surabondante des eaux qu'ils contiennent. Lorsque des éboulements viennent à se produire dans les terrains naturels par la diminution de leur force de cohésion, il y a toujours lieu de reconnaître que c'est par suite de circonstances accidentelles, telles que des crevasses produites par la sécheresse, des fissures naturelles d'une certaine importance, des pressions considérables ou

l'action mécanique des eaux introduites dans les fissures ou crevasses du terrain naturel.

La cohésion des remblais diminue considérablement lorsqu'ils contiennent une grande quantité d'eau; car alors les molécules, qui d'avance n'avaient entre elles que peu de liaison, deviennent encore plus indépendantes les unes des autres par l'interposition de l'eau, qui leur donne en outre la faculté de se mouvoir et de se déplacer sous l'influence des autres forces auxquelles elles peuvent être soumises. L'argile, en raison de la ténuité des parties qui la composent, peut même passer à un état de fluidité lorsqu'elle se trouve en contact avec une grande quantité d'eau.

La mesure de la force de cohésion est une opération fort délicate et qui ne peut guère donner que des résultats incertains. D'après ce qui vient d'être dit, il est facile de concevoir l'impossibilité de soumettre cette force au calcul pour toutes les espèces de terrains, pris à tous leurs degrés de consistance et d'humidité et de tenir compte en même temps du mode d'agrégation des terres.

Les nombreuses expériences sur la cohésion de l'argile faites avec un soin extrême par M. Collin suffisent nécessairement pour démontrer que ces terrains sont doués d'une force de cohésion très-grande, même dans les cas les plus défavorables. Sans avoir recours aux expériences, on peut se faire une idée de l'énergie de cette force pendant le déblai des tranchées argileuses. On peut remarquer, par exemple, lorsque les ouvriers minent les terres pour faciliter le déblai, qu'il ne suffit pas qu'un massif ABCD (fig. 38) soit isolé sur cinq de ses faces pour qu'une rupture ait lieu de B en C, il faut en-

Google

core, exercer de grands efforts en B et faire usage de coins que l'on enfonce par des chocs nombreux et puissants. Cette observation, ainsi que les expériences de M. Collin, démontre évidemment que la force de cohésion de l'argile à l'état de terrain naturel est de beaucoup supérieure à la pesanteur.

79. *Frottement.* — Le frottement dépend principalement de la nature des terres et de leur degré d'humidité.

80. 1° *Terrains naturels.* — La résistance de frottement varie entre des limites très-étendues, suivant la nature des terrains; elle est très-grande pour le sable grossier et beancoup plus faible pour les terres argileuses très-fines; elle diminue à mesure que l'humidité des terres augmente.

81. 2° *Terrains de remblai.* — Lorsque les terrains ont subi une modification quelconque dans leur mode de structure, tels que les remblais, les terres éboulées et celles qui ont été désagrégées par les influences atmosphériques, la résistance de frottement est bien inférieure à celle des terrains naturels à cause de la facilité que les molécules des deux surfaces frottantes possèdent de se déplacer sous un plus faible effort. Elle est encore ici en rapport avec la nature des terres et varie avec le degré d'humidité; elle est plus faible pour l'argile que pour le sable, pour les terrains mouillés que pour ceux qui ne contiennent que peu d'humidité; elle diminue aussi quand ils deviennent trop secs, surtout lorsque les terrains sont tout à fait désagrégés, quand la cohésion s'amoindrit par la suppression de l'eau.

82. 3° *Terres pilonnées.* — L'intensité du frottement des terres pilonnées est beaucoup plus grande que dans

les cas précédents, à cause sans doute de leur élasticité, de leur degré de cohésion et de compressibilité. C'est surtout à augmenter l'énergie de cette force que l'on doit s'attacher principalement, lorsque l'on fait exécuter des travaux de consolidation de remblais d'après les procédés que nous employons.

Quoique le frottement soit une force bien moins puissante que la cohésion, elle l'est cependant toujours assez pour que l'on en tienne compte, même dans les cas les plus défavorables, elle suffit souvent pour maintenir des masses éboulées dans un état d'équilibre provisoire.

La détermination à peu près exacte de la résistance du frottement, surtout lorsqu'il s'agit des terrains argileux, nous paraît impossible, attendu que cette force n'agit jamais seule ; il s'opère pendant le mouvement un rapprochement plus intime entre les deux surfaces frottantes qui a pour effet de produire ou plutôt d'augmenter la force de cohésion entre les terres des surfaces en contact. C'est ce qui explique la discordance des résultats que l'on a obtenus après de nombreuses expériences faites avec tout le soin possible ; c'est aussi pour cette raison qu'il serait si difficile d'appliquer aux terrains argileux les lois générales du frottement.

85. *Perméabilité.* — La perméabilité des terres est la faculté qu'elles possèdent de laisser passer l'eau à travers leurs pores ou les fissures qui divisent les massifs.

Les eaux contenues dans les terres sont soumises à l'action de deux forces contraires ; d'une part, c'est la pesanteur qui tend à les faire descendre verticalement ; de l'autre, c'est la capillarité, en vertu de laquelle l'eau s'élève et s'étend dans toutes les parties d'une masse poreuse.

La pesanteur est une force constante, qui ne varie qu'avec la densité des corps sur lesquels elle s'exerce; elle est donc toujours la même pour l'eau. Mais la capillarité varie avec la nature des terres et leur degré de porosité. On peut admettre que l'affinité de l'eau pour certaines espèces de terrains, augmente l'énergie de la force capillaire, mais il est évident qu'elle est toujours en raison inverse de la porosité des corps. Cette force est, en effet, beaucoup moins puissante dans les sables grossiers que dans les sables fins; elle est très-considérable dans les différentes espèces d'argiles, où elle est bien supérieure à l'action de la pesanteur.

Les terrains argileux sont donc naturellement imperméables. Lorsqu'il arrive que des couches argileuses donnent passage à l'eau, ce n'est que par suite de l'existence de fissures garnies de matières perméables ou de crevasses assez larges, de vides assez considérables pour que l'eau puisse obéir librement à l'action de la pesanteur. C'est pourquoi les remblais argileux sont perméables, surtout lorsqu'ils ont été construits récemment, et qu'il arrive quelquefois que l'on rencontre des couches argileuses qui donnent passage aux eaux intérieures de filtration.

Les terres argileuses corroyées, ayant une texture plus serrée que les terrains ordinaires de remblai et n'étant pas divisées comme les terrains vierges, sont beaucoup plus imperméables que ceux-ci. Cette nouvelle propriété des terrains argileux est souvent mise à profit, lorsqu'il s'agit de la construction des canaux et de l'établissement des digues de réservoirs ou de cours d'eau.

Digitized by Google

Principe fondamental du système de consolidation.

84. Les massifs de terre sont soumis à l'influence de trois forces principales, qui sont : la pesanteur, la cohésion et le frottement.

La pesanteur est une force permanente proportionnelle aux masses. La cohésion et le frottement varient avec la nature des terres et leur degré d'humidité ; nous avons vu précédemment comment leur intensité peut être augmentée ou diminuée.

La pesanteur tend constamment à faire prendre aux corps des positions inférieures à celles qu'ils occupent. Le frottement et la cohésion des terres concourent en même temps à un résultat différent, qui consiste à les maintenir toujours dans le même état.

C'est donc de l'action simultanée et contraire de ces trois forces que résulte la stabilité ou le mouvement des masses. Il y a stabilité quand la résultante des deux forces, cohésion et frottement, est supérieure à la pesanteur; il y a mouvement dans le cas contraire.

Donc, lorsque l'on ouvre une tranchée ou que l'on construit un remblai, les terrains seront dans un état d'équilibre, quelles que soient leur nature et la disposition de leurs différentes couches, toutes les fois que la cohésion et le frottement réunis produiront une force plus grande que l'action de la pesanteur; mais des éboulements surviendront nécessairement quand cette dernière force l'emportera sur les deux autres.

Cette explication est la plus simple et la plus vraie

Digitized by Google

que nous puissions donner de la cause primitive des éboulements, et c'est sur ce principe que sont basés tous nos procédés de consolidation des talus. Amoindrir autant que possible l'action de la pesanteur sur les masses, prévenir, supprimer toutes les causes qui tendent à diminuer la cohésion et le frottement, tel est le but que l'on doit rechercher pour assurer la stabilité des terrains.

Sans doute notre système n'est pas le seul qui procure les moyens d'obtenir l'équilibre des masses; nous verrons plus tard quels sont ceux qui offrent de semblables garanties de solidité. Mais nous avons la conviction que notre système, exposé dans toute son étendue dans cet ouvrage, a sur tous les autres l'avantage de la simplicité des moyens et d'une grande économie.

85. D'après ce qui vient d'être dit au numéro précédent, les causes de la production des éboulements sont de deux sortes : 1° celles qui tendent à détruire ou à amoindrir la cohésion et le frottement ; 2° celles qui favorisent directement l'action de la pesanteur. Nous allons indiquer successivement ces différentes causes de l'instabilité des talus de déblai et des terrains de remblai.

Causes des éboulements des talus de déblai.

86. *Influences atmosphériques.* — Par suite de leur exposition à l'air sec, les terrains naturels perdent l'humidité qu'ils contiennent sur une profondeur variable

Digitized by Google

avec la nature des terres, l'état hygrométrique de l'atmosphère et la durée de la sécheresse.

Par l'évaporation, les terrains perdent avec l'humidité une partie de leur cohésion; ceci se manifeste dans les terres sablonneuses, par la mobilité des parties désagrégées ; les terrains argileux éprouvent un retrait considérable et deviennent aussi très-friables ; ou bien, lorsque l'argile est compacte, à grains très-fins, ils sont divisés dans toutes les directions par des crevasses nombreuses qui atteignent souvent une grande profondeur.

Les eaux de pluie complètent le travail de décomposition commencé par la sécheresse de l'air. Les terres désagrégées absorbent promptement une très-grande quantité d'eau, de sorte que le frottement et la cohésion éprouvent une nouvelle diminution, plus considérable encore que celle qui résulterait de la sécheresse.

Cet effet est plus sensible pour les terres argileuses que pour les autres espèces de terrains; après avoir subi un retrait par la sécheresse, les eaux de pluie leur font éprouver un gonflement qui leur donne un volume plus grand que leur volume primitif; par suite de ces deux actions contraires, la structure de ces terres est complétement modifiée, et, en raison de la quantité d'eau qu'elles contiennent, elles peuvent devenir très-fluentes, au point que la cohésion et le frottement sont presque nuls.

87. La gelée produit sur les terrains des effets semblables à ceux qui résultent des alternatives de sécheresse et d'humidité. Les eaux contenues dans les terres acquièrent une augmentation de volume considérable par la congélation. On a trouvé que le volume de la glace est d'un dixième supérieur à celui de l'eau, à poids

Digitized by Google

égal; mais il est évident que, sous l'influence de la gelée, le gonflement des terres produit par l'expansion de l'eau qu'elles contiennent doit être bien supérieur à la différence de volume qui existe entre une même quantité d'eau considérée à l'état solide et à l'état liquide, car l'eau qui produit l'humidité des terres se trouve répartie de telle sorte, que, par le froid, il ne peut se former que des particules de glace isolées dont la somme, à cause de leur peu de densité, doit être supérieure au volume d'une même quantité d'eau glacée, mais réunie dans un même espace. L'augmentation ne peut pas être facilement déterminée, mais, comme on vient de le voir, elle est toujours considérable.

Lorsque arrive le dégel, les terrains tendent nécessairement à reprendre leur volume primitif; mais la dislocation et la contraction qu'ils ont subies ont eu pour effet de les désagréger, de les ameublir; en outre, les pluies qui surviennent toujours après les dégels, tout en causant une nouvelle diminution de la cohésion et du frottement, ajoutent leur influence à celle de la pesanteur, en augmentant le poids des terres par l'addition d'une certaine quantité d'eau et en communiquant aux masses désagrégées une partie du mouvement dont elles sont animées.

88. *Eaux intérieures.* — Les eaux dont le mouvement dans l'intérieur des terres peut déterminer des éboulements sont de quatre sortes :

1° Eaux de bancs de suintement;

2° Eaux de filtration à travers les racines;

3° Eaux de dégels;

4° Eaux stagnantes à la surface du sol.

89. Les eaux provenant des pluies ou de la fonte des

Google

neiges et qui sont absorbées par les terres descendent verticalement dans le sol, jusqu'à ce qu'elles arrivent sur des couches argileuses; elles se dirigent ensuite à travers les terrains perméables qui reposent sur les bancs argileux, en suivant, autant que possible, la ligne de plus grande pente de ces derniers.

Lorsque l'on vient à ouvrir une tranchée, les eaux, qui auparavant se rendaient vers le fond des vallées, s'épanchent librement sur la surface des talus et descendent dans les contre-fossés ou sur la plate-forme de la tranchée.

Les eaux intérieures de filtration causent des éboulements dans les tranchées, soit en ramollissant les bancs argileux sur lesquels reposent les couches aquifères ou bancs de suintement, soit en diminuant la cohésion des terres à l'intérieur des massifs ou à la surface des talus. Si, comme dans le premier cas, elles sont assez abondantes pour pénétrer les couches argileuses, même sur une très-faible épaisseur, la résistance de frottement se trouve nécessairement amoindrie. Elles diminuent la cohésion des terres en augmentant leur humidité ordinaire, ou en produisant la séparation des massifs lorsque, par exemple, par suite de leur abondance, elles introduisent, dans les crevasses verticales produites par la sécheresse, des matières graveleuses ou sablonneuses provenant de la surface du sol et lavées par les pluies. A la surface des talus, l'action de l'eau consiste à délayer les terrains argileux désagrégés, ou à entraîner dans son mouvement les terres perméables elles-mêmes lorsqu'elles ont naturellement peu de cohésion et que l'eau est très-abondante.

Les eaux de filtration qui apparaissent à la surface

des talus, proviennent, ainsi que nous l'avons vu précédemment, de celles qui tombent à la surface du sol ou de la fonte des neiges.

On a trouvé que la quantité d'eau qui tombe annuellement sur le sol est, en moyenne, de 5 hectolitres 60 litres par mètre carré; des expériences faites en Angleterre permettent d'évaluer à 41 pour 100 de ce volume la partie des eaux pluviales qui pénètre dans les terres, soit 2 hectolitres 38 litres par mètre carré, et par hectare 23,800 hectolitres. On peut, d'après cela, se faire une idée de l'énorme quantité d'eau fournie par les couches aquifères d'un terrain argileux.

90. Lorsqu'une tranchée est ouverte dans des terrains boisés, les racines des plantes donnent lieu à des suintements presque toujours abondants à la partie supérieure des talus. A l'époque des pluies, les eaux sont promptement absorbées par les terres à l'aide des conduits nombreux que forment les racines décomposées des plantes qui ont disparu de la surface du sol; de ces eaux, réunies en grande quantité dans l'espace compris entre la surface du sol et la limite inférieure à laquelle atteignent les racines, une partie descend verticalement, autant que le permet le degré de perméabilité des terres; l'autre partie se dirige vers la libre issue que l'ouverture des tranchées lui a donnée à la surface des talus. Il en résulte de véritables bancs de suintement, mais qui diffèrent des précédents par l'abondance des eaux sur une hauteur considérable et par l'intermittenee des sources. Il faut remarquer aussi que la limite inférieure du suintement est bien rarement déterminée, à cause des profondeurs très-variables auxquelles peuvent atteindre les racines, d'après l'espèce et l'âge des plantes

dont elles proviennent. Ce sont donc les dimensions des racines qui déterminent d'ordinaire la limite inférieure des suintements, car il peut arriver que cette limite se trouve vers le milieu d'une couche homogène AB (fig. 39).

91. Il se forme, à l'époque des dégels, une troisième espèce de suintement à la partie supérieure des talus, par suite de l'imperméabilité des terrains gelés et la grande abondance des eaux que le sol contient alors. Pendant l'hiver, les terres sont gelées sur une profondeur qui varie avec leur nature et l'intensité du froid ; elles forment alors une enveloppe imperméable que représente à peu près la figure 40.

Le dégel s'opère d'abord à la surface des terres et pénètre peu à peu jusqu'à la plus grande profondeur du terrain gelé. Mais, jusqu'à ce que le dégel ait atteint cette dernière limite, une grande partie des eaux de la surface du sol ont pu s'écouler librement sur la surface du talus et former un suintement dont la hauteur augmente, à mesure que s'effectue le dégel (fig. 41).

92. Les eaux qui séjournent au-dessus des tranchées et près de la crête supérieure des talus donnent très-fréquemment lieu à des éboulements plus considérables que ceux qui sont causés par les eaux des bancs de suintement ordinaires. Le frottement et la cohésion des terres doivent être inévitablement détruits dans le plus grand nombre de cas par l'absorption lente et continue des eaux stagnantes à la surface du sol (fig. 68). Il peut arriver en outre, que, par une disposition particulière des terrains, des éboulements volumineux se produisent par le moyen d'une assez faible quantité d'eau. C'est ainsi que, pendant l'hiver de 1857, un éboulement

de 8,000 mètres s'est produit à la tranchée de Briel, dans l'espace d'une nuit, en suivant la direction d'une ornière remplie d'eau de $0^m,60$ de profondeur à peu près sur 50 mètres de longueur. Cette ornière se trouvait précisément au-dessus d'une surface de séparation naturelle ayant le caractère d'une faille ordinaire (fig. 42). Une pluie d'une journée et demie a suffi pour déterminer la rupture du massif ABCD.

93. Les fossés de ceinture établis près du bord des tranchées pour préserver les talus de l'action des eaux qui descendent des coteaux supérieurs, présentent les mêmes inconvénients que les ornières ; ils concentrent une grande quantité d'eau dans un espace limité; d'un autre côté, il est impossible de les disposer de manière que toutes les eaux qu'ils reçoivent s'écoulent promptement, car, malgré les travaux d'entretien les mieux dirigés, on ne peut parvenir à leur conserver la forme régulière qui leur a été donnée primitivement, et à empêcher leur dégradation par l'action des eaux. Il en résulte nécessairement que les terres situées au-dessous du fond du fossé absorbent une grande quantité d'eau qui diminue leur force de cohésion; les eaux peuvent rencontrer d'ailleurs sur leur parcours des fissures naturelles qui facilitent leur introduction au sein des masses qu'elles ne tardent pas à détruire.

On pourrait citer une foule d'exemples à l'appui de ces observations; bien des éboulements considérables n'ont pas eu d'autre cause, et nous n'hésitons pas à dire que les fossés de ceinture doivent toujours être rigoureusement proscrits lorsqu'il s'agit de tranchées argileuses.

94. Lorsque, par une disposition particulière du sol,

ou par suite d'une mauvaise exécution des travaux de terrassement, l'eau des pluies séjourne au-dessus des tranchées dans des endroits déterminés par la dépression des terrains ou dans des trous résultant d'un défaut de règlement, des éboulements peuvent se produire pour des raisons semblables à celles qui viennent d'être expliquées et qu'il est inutile de rappeler. Cette cause d'éboulement doit toujours être soigneusement évitée; il suffit d'en reconnaître l'importance pour que jamais on ne néglige de faire disparaître les flaques d'eau qui peuvent se former au-dessus des tranchées ; c'est là, du reste, un travail toujours extrêmement facile et peu coûteux.

95. *Causes diverses.* — Outre les causes d'éboulement que nous venons d'examiner, il en existe d'autres que l'on pourrait appeler causes secondaires ; ce sont celles qui ont rapport aux différentes natures de terrains, au mode d'agrégation des terres, à l'inclinaison des talus et aux bancs de glissement. Généralement ces causes n'agissent pas indépendamment de l'action de l'eau ou des influences atmosphériques; cependant, en raison de leur importance, nous croyons utile d'en faire l'objet de quelques observations particulières.

96. *Différentes natures de terrains.* — Les terrains auxquels s'appliquent nos procédés de consolidation sont principalement les terrains argileux, les terrains sablonneux, ceux qui résultent du mélange du sable et de l'argile et les marnes argileuses.

Nous avons déjà indiqué les caractères particuliers de l'argile ; ce sont en résumé : la faculté de se gonfler à l'humidité, quelquefois même au simple contact de l'air,

de subir un retrait considérable par la sécheresse et de devenir très-fluente au contact de l'eau. Les terrains de cette espèce donnent lieu à des éboulements de surface et à des éboulements profonds, qui atteignent souvent un volume considérable.

On donne le nom de glaise à l'argile la plus compacte; les terrains de cette nature sont les plus imperméables; les couches qui présentent le plus de difficultés au piochage se décomposent très-facilement à la surface des talus par l'effet de la sécheresse, et principalement sous l'influence de la gelée.

97. A la suite des pluies et des gelées, le sable ne donne ordinairement lieu qu'à des éboulements superficiels sans importance, parce que le plus souvent il ne contient pas de bancs de suintement, de sorte qu'il n'y a lieu de craindre qu'une désagrégation des parties exposées à l'air, favorisée d'ailleurs par le peu de cohésion des terres sablonneuses.

Mais il peut arriver qu'un terrain se compose de couches successives de sables ayant un degré différent de cohésion, ou qu'une couche épaisse de sable repose sur un terrain imperméable et que, en outre, les couches les plus perméables donnent passage à une grande quantité d'eau de filtration. De l'ensemble de ces circonstances, il résulte toujours des éboulements volumineux qui se produisent par parties successives et pour ainsi dire sans interruption, de sorte que, en peu de jours, les masses éboulées peuvent atteindre des proportions considérables. Les travaux de consolidation les plus difficiles, ce sont, sans contredit, ceux qui ont pour but de maintenir la stabilité des sables mouvants; les moyens les plus énergiques ne sont pas toujours suffi-

sants, comme le prouvent particulièrement, ainsi qu'on nous l'a rapporté, les travaux extraordinaires exécutés à la tranchée de Voussy (ligne de Strasbourg).

98. Les terrains composés d'un mélange d'argile et de sable prennent le nom d'argile sablonneuse quand la quantité d'argile domine, et de sable argileux quand, au contraire, la proportion de sable est plus grande que celle de l'argile. Les terrains de cette espèce sont toujours sujets aux éboulements de surface ; les éboulements de masse causés par l'action des eaux intérieures sont toujours moins considérables que dans l'argile, toutes choses égales d'ailleurs. Il est bien évident qu'ils doivent être plus ou moins ébouleux, selon que la proportion de l'argile est plus ou moins considérable.

99. On trouve dans le bassin du Rhin une espèce de sable argileux que l'on désigne par les noms allemands de *lehm* ou de *loes*, qui n'ont pas d'équivalents en français. Ces terrains donnent rarement lieu à des éboulements profonds, à moins que ces éboulements ne soient provoqués par des travaux qui détruisent la cohésion des masses ; mais l'effet inévitable de la gelée, c'est de produire des éboulements superficiels de beaucoup d'étendue et d'une profondeur qui peut aller jusqu'à 0^{m},50. Les couches de lehm sont ordinairement divisées par des crevasses naturelles très-profondes, qui se manifestent quelquefois à la surface des talus par des lignes d'une nuance particulière, mais que l'on reconnaît toujours pendant les sécheresses. Quoique les couches paraissent être homogènes sur toute leur épaisseur, il n'est pas rare de remarquer, à des hauteurs différentes, des zones humides qui persistent assez longtemps après les pluies et surtout après les dégels

(fig. 147-150) ; mais ces suintements sont généralement peu abondants, et l'humidité qu'ils produisent à la surface des talus est presque toujours absorbée par l'air par le seul effet de l'évaporation. Cependant, après les fortes pluies qui ont pu amener la dégradation des talus ou pendant les dégels, les eaux intérieures peuvent quelquefois contribuer très-activement à augmenter les effets destructeurs des pluies et des gelées, par suite de leur abondance et de la trop faible quantité d'humidité qui peut disparaître par l'évaporation ; mais dans presque tous les cas les éboulements sont toujours superficiels.

100. La propriété particulière des marnes argileuses consiste dans la facilité avec laquelle ces terrains se désagrégent au contact de l'air. Les terrains marneux sont principalement sujets aux dégradations superficielles ; mais lorsqu'ils sont traversés par des bancs de suintement assez abondants et que le mode de structure des masses est peu favorable à la stabilité des terres, il peut arriver que les éboulements prennent des proportions considérables, par suite de la désagrégation des terres exposées à l'air et à l'action délayante de l'eau.

101. *Structure des terres.* — La structure des terres, ainsi que nous l'avons vu précédemment, a une influence considérable sur leur degré de cohésion ; il est facile de comprendre d'ailleurs que la division des masses en parties distinctes ayant leurs plans de joints plus ou moins inclinés, favorise beaucoup l'action de la pesanteur, chaque molécule étant alors sollicitée au mouvement par l'action de la gravité, presque indépendamment de la masse dont elle fait partie.

Ce qui a été dit sur ce sujet, en parlant des propriétés

Digitized by Google

générales des terrains, suffit pour faire comprendre toute l'importance que l'on doit attacher aux modes un peu réguliers de structure, lorsque cette circonstance se présente; nous croyons avoir suffisamment établi que la division naturelle des terres est une des causes qui doivent favoriser le plus puissamment la production des éboulements dans les talus de déblais.

102. *Inclinaison des talus.* — L'inclinaison des talus a un rapport des plus directs avec l'action de la pesanteur. En donnant aux talus une inclinaison plus forte, par exemple, que celle qui convient à la nature du terrain, on favorise toujours la production des éboulements superficiels, et souvent même celle des éboulements de masses.

Bien des efforts ont été tentés jusqu'à ce jour pour arriver à déterminer d'une manière exacte l'inclinaison qu'il convient de donner aux talus des déblais et des remblais. Il est assurément regrettable que les recherches auxquelles tant de savants ingénieurs se sont livrés sur cette importante question, n'aient pas pu aboutir à des résultats satisfaisants, surtout en ce qui concerne les terrains argileux; car il serait bien avantageux de pouvoir déterminer *à priori*, au moyen de quelques formules, les conditions d'équilibre des masses de terre; bien des accidents pourraient être évités, bien des économies seraient réalisées.

Sans méconnaître l'intérêt que peuvent offrir les travaux des ingénieurs qui se sont occupés au point de vue théorique de la stabilité des talus, il nous paraît bien évident que le calcul sera toujours impuissant pour la détermination du degré d'inclinaison à adopter dans les différentes circonstances qui peuvent se présenter.

Avant de soumettre au calcul les forces auxquelles les masses sont assujetties, il faudrait évidemment connaître d'une manière exacte leur mode d'action et leur intensité, et de plus, il n'en faudrait omettre aucune. Nous avons déjà reconnu l'impossibilité de trouver des coefficients exacts lorsqu'il s'agit des deux forces principales, cohésion et frottement; la pesanteur elle-même doit nécessairement varier avec le degré d'humidité des terres; nous avons vu aussi de quelle importance peuvent être les considérations qui s'attachent à la nature des terres et à leur mode de structure; les effets des influences atmosphériques sont loin d'être appréciables. Comment le calcul peut-il être possible lorsqu'il repose sur des données si nombreuses et si variables? « Sans doute, comme le dit si bien M. Collin, en posant à notre gré les conditions du problème, en élaguant les éléments qui nous gênent, ou en partant d'hypothèses complaisantes que l'expérience ne confirme pas, nous arrivons assez facilement à mettre le problème en équation pour en déduire les inconnues. Mais est-ce résoudre la question dans la plénitude et l'intégrité de sa nature? Non, c'est tourner l'obstacle, mais ce n'est pas le franchir[1]. »

Au moyen de quelques formules plus ou moins artificieuses, les calculateurs paraissent avoir réussi quelquefois à déterminer la surface de rupture des massis cohérents sous l'influence de la pesanteur et par suite un degré d'inclinaison des talus s'approchant assez des résultats de l'expérience ; mais jusqu'à ce jour le calcul

[1] *Recherches expérimentales sur les glissements spontanés*, M. Collin, p. 7.

n'a pu être considéré tout au plus que comme un moyen plus propre à corroborer les enseignements de l'expérience qu'à servir de guide à la pratique.

Deux exemples bien simples serviront mieux encore que le raisonnement à démontrer l'insuffisance du calcul pour déterminer les conditions de stabilité des terres.

Nous avons souvent remarqué que des chemins vicinaux creusés pour ainsi dire par le temps présentent quelquefois, en traversant des collines, deux escarpements à droite et à gauche, dont la hauteur peut atteindre 3 à 4 mètres et même davantage; leur profil est généralement celui représenté à la figure 43. Le terrain se compose souvent de sable silicieux, quelquefois c'est du lehm; comment se peut-il faire qu'une rupture n'ait pas lieu suivant une surface courbe quelconque dont l'origine se trouve à quelques mètres en arrière de la crête de chaque escarpement? Les raisonnements applicables à la détermination des talus de chemins de fer ne doivent pas cesser de l'être dans toutes les circonstances où l'on rencontrera des terrains de la même espèce; cependant les escarpements des chemins creux ne subissent pas de modifications bien sensibles au bout d'un grand nombre d'années; il suffit, pour les préserver des éboulements, qu'un buisson existant à la crête des escarpements mette le terrain à l'abri de l'humidité.

Lorsque l'on a recours aux emprunts pour l'exécution des remblais, les entrepreneurs ou tâcherons laissent subsister de distance en distance des témoins, sortes de repères servant à indiquer la hauteur des déblais effectués; le diamètre moyen de ces témoins est de 1^{m},50 à

peu près pour une hauteur deux ou trois fois plus grande (fig. 44). Les terrains disposés de la sorte n'auraient aucune durée si les lois indiquées de la stabilité des terres étaient vraies ; et cependant, lorsque le sommet des témoins est couronné par un gazon, ils résistent quelquefois plusieurs années à l'action de la pesanteur et aux influences atmosphériques.

Le degré d'inclinaison qu'il convient de donner aux talus ne doit et ne peut être déterminé que par l'expérience ; il suffit en général de tenir compte de la structure des terres, de l'action des eaux intérieures et des influences atmosphériques. On n'admet en pratique qu'un petit nombre d'inclinaisons pour les talus qui ne sont pas soutenus par des revêtements en maçonnerie ; l'administration des ponts et chaussées n'en prescrit que cinq ; nous pensons que malgré la diversité des cas qui peuvent se présenter, les trois inclinaisons suivantes, 1 de base pour 1 de hauteur, $1^m,25$ pour 1, et $1^m,50$ pour 1, peuvent suffire dans toutes les circonstances, et que, bien appliquées, elles présenteront toujours le double avantage de la solidité et de l'économie.

103. *Bancs de glissement.* — Il faut entendre par surfaces de glissement des plans qui forment une séparation naturelle entre deux couches de terrains superposées et n'ayant entre elles que peu de cohésion. Une surface de glissement peut se trouver entre deux couches argileuses, quoiqu'il n'y ait point de terrain perméable interposé ; mais il suffit souvent que les masses soient séparées par une mince couche de glaise.

Les surfaces de glissement entre deux couches argileuses se manifestent par des suintements peu abondants, à cause du peu de perméabilité de la couche

Digitized by Google

aquifère ; mais elles se reconnaissent plus souvent au toucher et pendant les travaux de déblai.

Les suintements entre deux couches de terrains argileux peuvent s'expliquer par l'existence de fissures naturelles, ou bien, comme l'indique la figure 45, par une disposition particulière qui se présente assez fréquemment pendant l'exécution d'une tranchée ; le plus souvent d'ailleurs les deux couches se distinguent facilement l'une de l'autre par une couleur et une texture différentes des terres. Mais il arrive aussi, comme nous l'avons remarqué à la tranchée de la Villeneuve (ligne de Mulhouse), que les deux couches n'ont entre elles aucune différence qui puisse aider à les distinguer.

La forme ordinaire de ces surfaces de glissement est généralement concave, et c'est naturellement au point le plus bas de la ligne AB que le suintement est le plus abondant (fig. 46) ; quelquefois même les parties relevées de cette ligne ne présentent aucune trace d'humidité. Dans tous les cas, la surface de glissement est déterminée par une mince couche d'argile très-fine et très-molle, dans laquelle on fait pénétrer une canne à une grande profondeur avec beaucoup de facilité. On peut aussi aisément suivre tout le parcours de cette ligne en passant le doigt entre les deux bancs argileux.

Lorsque, pendant le déblai des tranchées, il arrive que le piocheur met à découvert des surfaces lisses d'une certaine étendue, on a toute raison de se croire sur les traces d'une surface de glissement. Quand la fouille est près d'atteindre cette surface, l'ouvrier, avec le même effort, enlève à chaque coup de pioche un volume plus considérable, à cause du peu de cohésion des terres, suivant la ligne AB (fig. 47).

A l'emprunt de la station de Bricon, la surface de glissement se manifestait d'une manière toute particulière. La mince couche de terre molle qui séparait les deux bancs argileux, cédant sous le poids de la masse supérieure, formait un petit bourrelet dont la saillie était d'environ $0^{m},01$ sur la surface du talus réglé.

Une mince couche de glaise suffit aussi pour former une surface de glissement; mais alors elle se partage pour ainsi dire en deux parties qui glissent l'une sur l'autre, tout en restant adhérentes aux terrains avec lesquels elles sont en contact. L'éboulement qui s'est produit sur le côté gauche de la tranchée de Briel (fig. 75) glissait sur une couche d'argile AB de $0^{m},01$ d'épaisseur qui formait la séparation entre la couche de sable C et la couche d'argile sablonneuse D. L'éboulement de la tranchée du Chevannel (fig. 177-178) a été déterminé par une mince couche de glaise très-molle qui remplissait une crevasse presque verticale placée dans une direction oblique par rapport à l'axe du chemin de fer, et formant une séparation complète entre des masses considérables d'argilolite.

Ces surfaces de glissement sont bien plus faciles à reconnaître que les précédentes, puisque la séparation des couches est indiquée par un terrain d'une espèce particulière, et d'ailleurs, ils s'annoncent presque toujours par des petits éboulements partiels de peu d'importance, peu de temps après le réglement des talus.

L'importante question de la préexistence des surfaces de glissement fait depuis bien longtemps l'objet des préoccupations des ingénieurs. Quelques-uns, sans la nier d'une manière absolue, ont cherché à démontrer que cette surface ne se forme que pendant que l'ébou-

Digitized by Google

lement lui-même se produit. Mais il y a une distinction essentielle à établir entre les glacis des éboulements et l'idée que l'on doit se faire d'une surface préexistante de glissement ; les glacis ou surfaces de rupture ne sont évidemment préexistants que quand tout leur développement se trouve sur la couche argileuse qui a occasionné l'éboulement, comme aux figures 75 et 178, par exemple ; or, ceci n'arrive, il est vrai, que bien rarement, et l'on a raison, en général, de dire qu'ils sont une conséquence nécessaire du mouvement des masses éboulées. Mais, dans l'autre cas, les surfaces de glissement étant déterminées par la disposition naturelle des couches et par un état particulier du terrain qui sépare deux couches superposées, deux circonstances antérieures à l'ouverture des tranchées, il n'est pas possible de ne pas admettre que ces surfaces de glissement sont préexistantes.

C'est là, il est vrai, un cas assez rare ; il ne s'est présenté que cinq fois dans onze tranchées argileuses de la partie de la ligne de Mulhouse comprise entre Troyes et Chaumont. Nous ferons remarquer aussi que cette circonstance est une des plus embarrassantes qui puissent se présenter dans les travaux de consolidation des talus, et que c'est souvent l'opinion des ingénieurs à ce sujet qui détermine leur choix entre les différents systèmes de consolidation.

Causes des éboulements de remblais.

104. Les différentes causes des éboulements de remblais se rapportent aux terrains sur lesquels ils reposent

et à la masse des terres dont ils sont formés. Les principales dépendent donc :

1° *De l'inclinaison du sol naturel ;*

2° *De la nature et de la consistance du terrain formant le sol et le sous-sol ;*

3° *De la nature des terres avec lesquelles les remblais sont formés ;*

4° *De la disposition des couches qui composent les remblais ;*

5° *De l'action des eaux intérieures ;*

105. 1° Malgré toutes les précautions que l'on peut prendre pour préparer le sol sur lequel doit reposer un remblai, il n'est jamais possible d'obtenir une liaison parfaite entre les terres de ce remblai et le terrain naturel ; par conséquent, lorsqu'un remblai est établi sur un sol disposé suivant une pente transversale, celui-ci joue alors le rôle d'un plan incliné sur lequel le remblai peut se mouvoir sous l'action de la gravité (fig. 77).

106. 2° Lorsque les éboulements dépendent de la nature des terres du sol, ils ont lieu de deux manières, selon que le terrain naturel est horizontal ou qu'il est disposé suivant une pente transversale assez considérable. Dans le premier cas, le mouvement des remblais ne peut être causé que par la pression qui s'exerce sur la couche supérieure du sol ; c'est ce qui arrive généralement lorsque l'on est obligé de traverser des terrains tourbeux. Dans l'autre cas, les remblais se déplacent, parce qu'à peu de profondeur au-dessous du sol il se trouve une couche argileuse sur laquelle la partie supérieure du terrain naturel elle-même tend à se mouvoir sous l'influence du poids des terres du remblai (fig. 79).

107. 3° Les remblais argileux sont évidemment ceux qui ont le plus de tendance à s'ébouler. Quand on a donné aux talus des remblais en sable leur inclinaison normale, ils subissent, sans se modifier sensiblement, l'action des eaux et les influences atmosphériques. Il n'en est pas de même pour les remblais argileux ; les talus que les terrains argileux prennent d'eux-mêmes sous l'influence de la gravité varient dans des limites très-étendues. Ainsi, par exemple, ces terres peuvent se maintenir pendant quelque temps avec un talus d'environ 45 degrés lorsqu'elles ont été récemment déchargées des waggons qui ont servi à les transporter; mais lorsqu'elles viennent à s'ébouler, principalement par suite du ramollissement qu'elles ont éprouvé au contact de l'eau, l'inclinaison de leur talus peut devenir alors extrêmement faible et semble avoir une tendance à se rapprocher de l'horizontale, à mesure que la fluidité des terres s'approche de l'état liquide parfait. Aussi n'est-il pas rare de voir des talus éboulés atteindre une inclinaison de 4 et même 5 de base pour 1 de hauteur.

Les remblais argileux, à cause de la nature des terres dont ils sont formés, sont donc les seuls qui soient pour ainsi dire prédisposés aux éboulements; quelques ingénieurs même, frappés des difficultés que présente l'exécution de semblables remblais et des accidents auxquels ils donnent si souvent lieu, ont cru devoir proscrire, par mesure de prudence, l'emploi en remblai des terres argileuses provenant des tranchées. On sait les inconvénients que présente une pareille mesure, et nous verrons plus loin quels sont les moyens que nous employons pour faire des remblais solides avec toute espèce de terrains.

108. 4° La disposition des masses partielles qui composent les remblais est l'une des causes d'éboulement les plus fréquentes. Un remblai est souvent formé de couches distinctes par rapport à la nature des terres et à leur degré de consistance. La nature des terres peut varier d'un point à un autre dans un remblai, quand, dans les tranchées, le terrain se compose de couches successives de différentes espèces, et que, par suite de l'organisation des chantiers de terrassements, le déblai s'effectue de telle sorte que les diverses espèces de terres ne sont pas mélangées au remblai.

Supposons donc que, dans un remblai dont le transport a été fait au waggon, une couche de terrain perméable AB (fig. 50) se trouve placée entre deux masses argileuses *cd* : cette disposition donne évidemment lieu à une véritable surface de glissement préexistante ; aussitôt que l'eau, en parcourant la surface EF de la masse *d*, adjacente au terrain perméable AB, sera parvenue à diminuer l'intensité du frottement qui s'exerce suivant cette même surface EF, les masses C et (*ab*) ne tarderont pas à se déplacer sous l'influence de la pesanteur, et la surface de glissement sera précisément la surface EF.

Cette circonstance se présente le plus souvent, comme nous venons de le dire, lorsqu'au déblai des tranchées on rencontre des couches épaisses de nature différente, disposées de manière que des waggons puissent n'être chargés exclusivement que de terrains perméables ou de terrains imperméables, et aussi lorsque les terres sablonneuses sont déchargées de côté, après la formation du noyau central du remblai.

109. *Terres fluentes.* — Si, au lieu d'une couche de

Digitized by Google

sable c'est un amas de boues argileuses qui se trouve entre des massifs de terres solides (fig. 51), l'effet sera le même que dans le cas précédent ; seulement, il sera plus prompt, et les éboulements pourront se produire indépendamment de l'action des eaux de pluie qui pénètrent dans le corps du remblai.

Le déblai des terres argileuses donne souvent lieu à l'enlèvement d'une grande quantité de boues provenant soit du nettoyage des talus éboulés, soit de l'enlèvement des terres délayées sur la plate-forme par l'action des eaux, augmentée des effets produits par le passage des ouvriers et des chevaux et aussi par le mouvement des traverses, lors du passage des convois de terrassements ; ces boues, lorsqu'elles sont employées en remblai, sont presque toujours déchargées d'un côté ou de l'autre de la voie de terrassement posée sur l'axe de la ligne ; de cette façon, elles ne peuvent pas nuire à l'établissement et à l'entretien de cette voie, mais par la disposition qu'elles prennent en suivant le plan incliné déterminé par le talus du noyau central du remblai, elles rendent inévitable le mouvement de la masse M qui les recouvre.

110. *Terres désagrégées.* — Bien rarement les remblais sont exécutés en même temps sur toute la largeur de leurs profils ; c'est là quelquefois l'oubli des sages prescriptions des ingénieurs ; mais il arrive aussi très-souvent que le complément des remblais est ajourné jusqu'après la mise en circulation de la ligne, à cause du peu d'importance relative que l'on attache à ce travail.

Il est nécessaire d'observer cependant que cette méthode, qui peut être sans conséquence lorsqu'il s'agit de terrains ordinaires, présente de graves inconvénients

Digitized by Google

pour les remblais argileux. Supposons, en effet, que l'on complète un remblai argileux actuellement formé de terres déposées depuis six mois ou une année ; alors, ces terres ont subi un tassement assez considérable et ont pu déjà acquérir un certain degré de consistance, à l'exception pourtant de celles qui sont exposées aux influences atmosphériques ; celles-ci se désagrégent plus complétement que les autres, sont mouillées ou deviennent sèches, selon les conditions météorologiques de l'atmosphère ; en un mot, les terrains situés à la surface des talus des remblais argileux, sur une épaisseur de $0^{m},10$ à $0^{m},30$, éprouvent des changements et subissent des modifications qui les rendent presque indépendants des terrains sous-jacents.

Supposons donc qu'il s'agisse de compléter un remblai argileux représenté par la figure 52. Les terres de la partie prismatique P (fig. 53) ne pourront jamais se relier intimement avec la masse primitive et principale du remblai, dont elles seront séparées par la couche désagrégée *ab*, sèche à l'extérieur et plus humide près de la surface *cd*, et le remblai, une fois complété, ne tardera pas à s'ébouler suivant cette même surface *cd* (fig. 52-53) formant glacis.

111. *Tassements.* — Les tassements sont parfois une cause d'éboulement lorsqu'ils ne se produisent pas d'une manière uniforme ; ils donnent lieu à la formation de crevasses qui ont pour effet la séparation des masses composant les remblais.

Le tassement produit des crevasses lorsqu'il est inégal, à cause de la différence de nature des terres, et lorsqu'il s'opère successivement sur les masses partielles déposées en remblai à des époques différentes. Les

eaux de pluie qui s'infiltrent dans une partie du remblai au moyen du ballast, les eaux stagnantes sur la plate-forme peuvent aussi occasionner des tassements inégaux. Il en est nécessairement de même lorsqu'une forte inclinaison du sol rend très-différente la hauteur verticale des diverses parties qui composent un remblai (fig. 54). La séparation des masses, produite par les crevasses résultant des tassements inégaux ou successifs, est ordinairement d'autant plus distincte que ces crevasses se remplissent très-facilement de ballast ou autres matières perméables déposées sur la plate-forme des chemins de fer.

112. 5° Les eaux intérieures d'un remblai proviennent principalement des dépôts de glaces ou de neiges, des pluies et des gelées.

113. *Dépôts de neige et de glace.* — On a quelquefois l'imprudence de transporter en remblai les amas de neige qui encombrent les tranchées et les glaces qui se forment dans les fossés ou dans les cunettes; la chaleur, aidée de la pression des terres, fait fondre la glace et la neige au bout d'un certain laps de temps; la masse d'eau qui en résulte délaye les terres environnantes avant de se frayer une issue à la surface des talus ; les terres fluentes, n'ayant qu'une force de cohésion très-faible, tendent nécessairement à obéir à la seule action de la gravité.

114. *Eaux de pluie.* — Les eaux de pluie pénètrent dans les terres en raison de leur degré de perméabilité et tendent naturellement à suivre la direction des couches les plus perméables et des crevasses qui existent dans les remblais ; leur introduction dans les terres est favorisée d'ordinaire par les inégalités de surface à

Digitized by Google

la partie supérieure et principalement par le ballast.

Le ballast absorbe une énorme quantité d'eau à la suite des pluies et à l'époque des dégels ; il n'en laisse échapper qu'une faible partie par l'évaporation, de sorte que tout le volume des eaux qui tombent sur la plate-forme d'un remblai, après avoir été absorbées par le ballast, peuvent pénétrer dans l'intérieur, s'ils sont suffisamment perméables. Quand il s'agit d'un remblai argileux, on recommande généralement de disposer la plate-forme avec des pentes transversales qui permettent aux eaux du ballast de s'écouler vers la surface des talus. Mais le plus souvent cette plate-forme est mal réglée et peut présenter en outre des crevasses dont nous venons d'expliquer l'origine, de sorte que la plus grande partie des eaux du ballast pénètre quelquefois dans la masse du remblai et occasionne ainsi des éboulements considérables, surtout s'ils sont favorisés par une ou plusieurs des autres causes que nous venons d'exposer.

115. *Remblais construits dans les vallées submersibles.* — Lorsque des remblais sont établis dans des vallées submersibles, il est très-important de les prémunir contre deux causes d'éboulement qui sont : le ramollissement des terres en contact avec l'eau et l'action des vagues. L'une ou l'autre de ces deux causes peut amener la destruction des talus ; mais leurs effets sont bien plus considérables lorsqu'elles agissent en même temps.

L'action seule des vagues ne pourrait, en général, produire que des dégradations peu importantes, à moins qu'elle ne soit favorisée d'ailleurs par la mauvaise nature des terres dont le remblai est formé et par une très-forte inclinaison des talus. Le choc qu'elles produisent

Digitized by Google

sur les terres a pour effet de les désagréger sur une certaine épaisseur, de les délayer et de les entraîner ensuite dans leur mouvement. Il en résulte un sillon horizontal sur la surface du talus, à la hauteur du niveau des eaux. Lorsque les terres ont peu de cohésion ou qu'elles se délayent facilement au contact de l'eau, et que, en outre, l'inclinaison des talus est trop considérable, ce sillon devient alors bientôt très-profond et détruit l'équilibre de la masse de terre qui se trouve au-dessus (fig. 55).

Quand les talus d'un remblai sont submergés sur une certaine hauteur, les terres sont d'autant plus promptement imbibées que le terrain est plus perméable et que la pression qu'elles supportent est plus considérable. Lorsque ces terres sont susceptibles de devenir fluentes au contact de l'eau, elles perdent leur force de cohésion et s'ébouleraient bientôt si elles n'étaient soutenues par la pression latérale de la masse d'eau qui les recouvre. Mais, lorsque la hauteur des eaux diminue, les terres ainsi ramollies, n'obéissant plus, pour ainsi dire, qu'à l'action de la pesanteur, ne tardent pas à descendre au pied des talus, en produisant des excavations à peu près semblables à celles qui résultent des éboulements de talus des tranchées argileuses.

Lorsqu'à l'action des vagues se joint le ramollissement des terres, ces deux causes doivent produire des résultats beaucoup plus importants, car les effets de l'une favorisent l'action de l'autre, et réciproquement; par exemple, les terres battues par les vagues sont d'autant plus facilement entraînées qu'elles sont ramollies sur une plus forte épaisseur, et le mouvement des vagues, tout en augmentant la fluidité des terres, accélère

évidemment le glissement des terres ramollies par le contact de l'eau.

116. *Influences atmosphériques.* — Les influences atmosphériques ne produisent pas sur les terrains les mêmes effets que ceux que nous avons indiqués pour les terrains naturels. Nous avons vu quelle est l'action des eaux de pluie ou des dégels absorbées par le ballast; elles contribuent en général à la formation des éboulements des masses. Les alternatives de sécheresse et d'humidité ne produisent pas d'effets sensibles à la surface des talus, même lorsqu'il s'agit des terrains argileux; les éboulements de surface ne se produisent que très-rarement, ou bien ils n'ont que très-peu d'importance. Il faut en excepter pourtant les remblais qui ne sont formés que de lehm non mélangé avec d'autres terrains qui en augmentent la cohésion et la résistance de frottement. Les pluies de longue durée et la gelée produisent, sur de semblables remblais, les effets cités précédemment, et en outre des éboulements superficiels analogues à ceux qui se manifestent sur les talus de tranchées.

CHAPITRE IV.

MODE DE PRODUCTION DES ÉBOULEMENTS.

---

117. Selon que les éboulements ont peu d'épaisseur et qu'ils ne peuvent être considérés pour ainsi dire que comme de simples dégradations des talus, ou bien qu'ils atteignent une certaine profondeur souvent supérieure à $1^{m},50$, ils sont de deux espèces, que l'on désigne ainsi : *Eboulements de surface* ou glissement de superficie, et *éboulements par masses*, qu'on appelle encore quelquefois *glissements de fond.*

En considérant la multiplicité des causes qui tendent à détruire l'équilibre des masses de terres, soit en déblai, soit en remblai, on comprend que les éboulements ne peuvent pas se produire tous de la même manière, et qu'ils doivent nécessairement différer entre eux de forme et de volume selon la nature des terrains, la hauteur et l'inclinaison des talus, l'abondance des eaux intérieures et les circonstances particulières que nous avons déjà indiquées.

Nous avons cru nécessaire d'admettre la distinction des éboulements en deux espèces, quoique, en réalité,

il soit bien difficile de déterminer d'une manière précise les caractères particuliers de l'une ou de l'autre des deux divisions. Cette distinction, consacrée par l'usage, nous paraît du reste suffisamment justifiée par la différence qui existe généralement dans la forme et l'épaisseur des éboulements et les causes qui les produisent.

Éboulements de surface.

118. La cause principale des éboulements de surface consiste dans la désagrégation des terres produite par les influences atmosphériques.

Quand, après avoir subi un retrait et un foisonnement occasionnés par la sécheresse et l'humidité, les terres se trouvent désagrégées à la surface des talus, il en résulte une perte presque totale de leur force de cohésion ; la résistance de frottement, étant elle-même considérablement amoindrie, devient alors insuffisante pour résister à l'action de la pesanteur.

Supposons que le terrain situé à la surface d'un talus AB (fig. 56) ne soit pas protégé contre les influences atmosphériques. La couche ABCD se trouvera bientôt ameublie par les mouvements contraires, foisonnement et retrait, que subissent les terrains en contact avec l'air, et, aussitôt que l'action de la pesanteur deviendra supérieure à la résultante de la cohésion et du frottement, les terres désagrégées se disposeront suivant un nouveau talus A'CB' (fig. 70). Des effets semblables se répéteront ensuite dans la partie AA' (fig. 70), jusqu'à ce

que l'inclinaison du talus primitif AB, modifiée sous l'influence de la gravité, se soit changée en une inclinaison définitive A″C′B″ (fig. 70), ou A′CB′ (fig. 57) qui satisfasse aux conditions de l'équilibre des masses désagrégées, ou, en d'autres termes, jusqu'à ce que les terres, dans leur mouvement, se soient disposées suivant l'inclinaison de ce que l'on appelle leur talus naturel.

L'action de la gravité seule ne peut produire un semblable résultat que dans des cas très-rares ; les effets contraires de la sécheresse et de l'humidité de l'air ne sont pas suffisants pour amener un ameublissement tel, que toutes les molécules des terrains désagrégés soient assez indépendantes les unes des autres pour n'obéir qu'à l'influence de la pesanteur. Quoique crevassés, divisés dans tous les sens, les terrains argileux conservent toujours une force de cohésion assez notable qui leur permet souvent de se maintenir suivant des inclinaisons plus roides que celles que l'on admet d'ordinaire pour les talus des tranchées ; le sable seul peut être susceptible de se désagréger d'une manière tout à fait complète au contact de l'air, et encore peut-on citer bien des exemples qui prouvent que, dans certaines circonstances, il se maintient suivant un escarpement vertical, quelquefois même en surplomb.

119. L'action des eaux de pluie est une des causes les plus puissantes des dégradations superficielles. Lorsque les terrains désagrégés à la surface des talus reçoivent une trop grande quantité d'eau, leur poids augmente en même temps que leur cohésion et la résistance de frottement diminuent. Sans parler du mouvement qu'elles communiquent aux terres désagrégées, les eaux de pluies

produisent donc alors deux effets différents qui favorisent puissamment l'action de la pesanteur.

120. La forme des éboulements de surface est généralement fort irrégulière quand le terrain n'est pas de même nature sur toute la hauteur d'un talus. Il est évident que les dégradations atteindront toujours une profondeur variable avec la facilité qu'auront les terrains de se désagréger au contact de l'air et le degré de consistance que conservent les terres ameublies, lorsqu'elles sont imbibées d'eau.

121. Les terres désagrégées de la surface d'un talus de déblai peuvent encore se trouver déplacées par le mouvement qui s'opère au passage des convois et même par l'action des vents. Dans le premier cas les dégradations superficielles n'ont d'ordinaire que peu d'importance et ne donnent lieu qu'à quelques dépenses peu élevées pour le nettoyage des contre-fossés.

Ce n'est seulement que quand les tranchées sont ouvertes dans des terrains composés d'un sable pur très-fin que les terres désagrégées de la surface des talus peuvent être emportées par le vent sous forme de poussière [1]; mais ces sortes de dégradations deviennent parfois un inconvénient sérieux, parce que cette poussière incommode les voyageurs, et principalement parce qu'elle contribue d'une manière notable à la détérioration du matériel.

122. Les effets de la gelée sont semblables, mais à un degré supérieur, à ceux qui résultent des alternatives de sécheresse et d'humidité et de l'action des eaux pluviales. La gelée produit la désagrégation des terres ; le

[1] Tranchée d'Etampes (chemin de fer d'Orléans).

ramollissement qui s'opère ensuite au dégel est presque toujours suffisant pour déterminer l'éboulement de toute la couche qui a subi l'action de la gelée. Mais généralement, les dégels sont suivis de pluies très-abondantes qui activent la production des éboulements et en augmentent l'importance.

L'influence de la gelée varie avec la nature des terres et leur mode d'agrégation ; elle est moins considérable sur le sable que sur l'argile et le lehm les terrains qui sont doués d'une structure quelconque, mais appréciable, sont en général ceux qui se dégradent le plus profondément.

L'orientation des talus influe aussi beaucoup sur l'importance des effets de la gelée ; ceux qui sont exposés au midi reçoivent pendant le jour une plus grande quantité de la chaleur solaire et sont, plus que les autres, à l'abri des vents du nord ; c'est pourquoi la gelée s'y fait toujours sentir avec moins d'intensité, et c'est ce qui explique pourquoi, des deux talus d'une tranchée se trouvant à peu près dans les mêmes conditions, celui qui est exposé au nord peut quelquefois s'ébouler à la fin de l'hiver sur une large surface, pendant que celui qui est exposé au midi ne subit aucune dégradation.

Éboulements par masses.

123. Les éboulements par masses peuvent se produire de deux manières principales : ils sont formés de la réunion de masses partielles qui, sous l'empire des mêmes causes, viennent augmenter le volume des ébou-

lements ; ou bien ils se produisent tout d'un coup, en affectant, dès l'origine, des formes et des dimensions qui ordinairement ne subissent ensuite que peu de modifications.

Il est facile de concevoir que ces deux modes de formation des éboulements dépendent de la nature des causes qui tendent à détruire l'équilibre des masses, et, en général, des circonstances favorables à l'action de la gravité.

124. Lorsqu'un éboulement vient d'avoir lieu, si la cause qui l'a produit est permanente, ou même si cette cause subsiste seulement quelque temps après la formation de ce premier éboulement, il arrivera le plus souvent que les mêmes effets se reproduiront successivement sous l'influence de ces mêmes causes et que l'éboulement définitif se composera d'un nombre plus ou moins considérable de masses partielles qui se seront mises en mouvement, aussitôt que les forces qui maintenaient leur équilibre seront devenues insuffisantes pour résister à l'action de la pesanteur.

Les eaux intérieures et celles qui coulent à la surface du sol donnent lieu à de semblables éboulements que l'on nomme quelquefois *éboulements multiples*.

124 *bis*. Quand un massif de terrain se déplace par suite d'une circonstance particulière telle que la présence d'un banc de glissement, ou par l'effet d'une cause qui disparaît aussitôt que l'éboulement s'est produit, une trop forte inclinaison du talus par exemple, des eaux stagnantes à la surface du sol, il est évident que cet éboulement doit atteindre, dans un espace de temps très-limité, son maximum d'amplitude et qu'il ne doit plus subir ensuite que de légères modifications.

125. *Eaux intérieures.* — Les éboulements causés par l'action des eaux intérieures de filtration sont incontestablement ceux qui se produisent le plus souvent après l'ouverture des tranchées. Leur importance varie, on le comprend, avec l'abondance des eaux et la nature des terrains; c'est surtout dans les tranchées argileuses et principalement après les fortes pluies ou la fonte des neiges, que les eaux intérieures causent en plus grand nombre les éboulements les plus volumineux,

126. 1° *Suintements naturels.* — L'action des eaux qui proviennent des suintements naturels a lieu dans le principe, soit sur le terrain perméable lui-même, soit sur la couche argileuse inférieure au suintement.

Supposons qu'un talus non consolidé (fig. 58) contienne un banc de suintement S. Le mouvement des eaux, aidé des influences atmosphériques, suffit pour détacher et entraîner le petit prisme P qui se trouve à la limite inférieure de la couche argileuse et à la surface du talus; la partie voisine de cette portion de terrain éboulé, en subissant les mêmes effets, doit nécessairement se comporter de la même manière et avec d'autant plus de facilité que la surface de rupture, ayant lieu presque verticalement, favorise évidemment l'action de la pesanteur. L'éboulement augmente ainsi graduellement à mesure qu'une portion de terrain qui se trouve à pic sur une plus ou moins grande hauteur et dont la base est minée par le mouvement ou par l'action délayante de l'eau, ne se trouve plus dans des conditions satisfaisantes d'équilibre; il peut présenter à un moment donné la forme de la figure 59.

C'est à peu près de cette manière que se produisent les éboulements dans les terrains sablonneux traversés

par des eaux de filtration abondantes; ils sont plus rares dans les autres cas; c'est ainsi néanmoins que se sont formés quelques éboulements du talus côté droit de la tranchée de Briel (ligne de Mulhouse), où le terrain est d'argile sablonneuse. En fort peu de temps, les eaux d'un banc de suintement peu abondant qui se trouve vers la moitié de la hauteur du talus ont donné lieu à d'assez profondes excavations que le revêtement en terres pilonnées n'a pas fait entièrement disparaître.

Dans les tranchées argileuses, les éboulements se produisent plus généralement de la manière suivante : La couche argileuse G (fig. 60) acquiert à la surface AB un certain degré de perméabilité, par suite des influences de la sécheresse et de l'humidité. Par conséquent, une partie des eaux du suintement S peut s'introduire dans la couche d'argile ameublie qui ne tarde pas alors à devenir fluente et à glisser en partie au fond de la tranchée. Le ramollissement commence naturellement dans la partie la plus voisine du banc de suintement; bientôt une portion P (fig. 60) de terre argileuse suffisamment imbibée d'eau se met en mouvement et le prisme P' de terre perméable, manquant d'appui, s'éboule à son tour. La petite masse M (fig. 61), en s'opposant ensuite au passage des eaux de filtration, les force à pénétrer dans la couche argileuse qu'elles ramollissent sur une certaine épaisseur ; ce ramollissement est favorisé d'ailleurs par le mouvement de la masse déjà ébranlée, qu'un degré de cohésion toujours appréciable retient avec plus ou moins de force au terrain naturel. Le ramollissement de la couche argileuse s'opère ainsi progressivement (fig. 62); sous l'influence de la pesanteur les terres ramollies se déplacent et, à mesure que

les masses supérieures ne se trouvent plus dans des conditions d'équilibre suffisantes, elles se mettent en mouvement vers la tranchée.

127. 2° *Filtrations à travers les racines.* — Les eaux d'un suintement déterminé par les racines des plantes produisent des éboulements dont la forme diffère en général de celles qui ont été indiquées aux articles précédents.

S'il se trouve à peu de distance de la surface du sol une couche d'argile sur laquelle se dirigent les eaux de filtration (fig. 63), la surface argileuse du talus, ameublie par l'action de l'air, se dégradera successivement à mesure que l'épaisseur du terrain désagrégé augmentera par l'effet des influences atmosphériques, et que les eaux du suintement S produiront le ramollissement des terres argileuses ameublies.

La couche perméable P étant retenue avec beaucoup d'énergie par les racines, le talus représenté figure 63, devra donc prendre la forme de la figure 64, et les terres en surplomb ne s'ébouleront que quand leur volume sera assez considérable pour que leur poids l'emporte sur cette résistance.

Quand la partie d'un talus inférieure au suintement se compose de couches de terrains de différente nature, la forme des éboulements est le plus souvent irrégulière, leurs diverses épaisseurs varient en raison de la facilité avec laquelle les terrains se désagrégent au contact de l'air et du degré de fluidité qu'ils acquièrent lorsqu'ils sont en contact avec l'eau.

128. 3° *Eaux des dégels.* — Indépendamment des éboulements de surface produits par l'action alternative des gelées et des dégels, la gelée donne lieu à une autre

sorte d'éboulements, par la production d'un banc de suintement à la partie supérieure des talus.

Les suintements de cette espèce n'ont lieu qu'à l'époque des dégels; ils résultent de l'écoulement des eaux provenant de la fonte de la glace interposée entre les molécules de la couche de terrain gelé, de celles produites par la fonte des neiges et souvent aussi d'une partie des eaux de pluie qui accompagnent ordinairement les dégels (nº 91).

Pour expliquer la formation et les effets de cette nouvelle espèce de suintement, supposons (fig. 40) qu'il se soit formé pendant l'hiver une couche de terre gelée à la surface extérieure d'un terrain dans lequel on a ouvert une tranchée. L'épaisseur de cette couche est très-variable et dépend naturellement de l'intensité du froid, de la nature et du degré d'humidité du sol; elle est ordinairement de $0^m,30$ à $0^m,40$.

Lorsque commence le dégel, l'influence de la chaleur se fait sentir d'abord à la surface exposée à l'air, et l'épaisseur de la gelée va toujours s'amoindrissant jusqu'à la limite ABCD.

Il arrivera donc un moment où l'état du terrain naturel représenté figure 40 se trouvera modifié, comme l'indique, par exemple, la figure 65. La couche de terre gelée étant naturellement imperméable, toutes les eaux contenues dans l'espace CDGH (fig. 41) s'écouleront suivant HD, iront sortir à la surface du talus entre les points I et S et entraîneront dans leur mouvement les terres désagrégées et ramollies de la surface des talus FG (fig. 40).

C'est au moyen de cette simple explication que l'on peut se rendre compte du changement que peut subir

à l'époque des dégels la forme des talus d'une tranchée, lors même que les terrains ne renfermeraient pas de couches aquifères.

La profondeur des éboulements ainsi produits dépend de l'abondance des eaux et de la nature des terres; la forme la plus ordinaire du talus éboulé serait à peu près celle de la figure 65, car le plus souvent, dans le cas qui nous occupe surtout, plusieurs causes concourent à la formation des éboulements; ce sont, par exemple, outre le mouvement des eaux que nous venons d'expliquer, le gonflement et le ramollissement des terres de la surface des talus par l'effet de la gelée, les pluies abondantes qui tombent ordinairement pendant les dégels, et, lorsque cette circonstance se présente, les effets ordinaires des suintements naturels.

129. M. de Sazilly, en constatant que c'est à la suite des dégels que les éboulements se produisent en plus grand nombre dans les tranchées argileuses, accompagne cette observation d'une explication que nous croyons utile d'examiner dès à présent. Dans le deuxième chapitre de son mémoire, il avance cette supposition, qu'il ne donne du reste que comme une probabilité, que pendant l'hiver les issues S et S′ (fig. 40) des eaux intérieures de filtration qui traversent les bancs de suintement B et B′ peuvent être obstruées par l'action de la gelée, et que par suite les eaux s'accumulent dans les couches aquifères et détrempent les couches d'argile avec lesquelles elles sont en contact; les masses ainsi détrempées s'éboulent au dégel, par suite du ramollissement des surfaces *ab* et *a′b′* (fig. 40).

Sans aucun doute, il ne serait pas juste de prétendre que la gelée ne s'oppose point à l'écoulement des eaux

intérieures, mais d'un autre côté, nous ne pouvons pas non plus partager les appréhensions de M. de Sazilly. De deux choses l'une : ou les suintements sont fort abondants, ou bien le débit de l'eau n'est que très-faible relativement à la hauteur de la couche aquifère; dans le premier cas l'eau est douée d'un mouvement assez rapide pour s'opposer à la congélation, pour conserver son cours ordinaire ou s'en frayer un autre ; elle s'étend, après sa sortie, sur la surface des talus, où elle forme des amas de glace plus ou moins considérables. Dans le cas contraire, les eaux, étant peu abondantes, ne peuvent former pendant la durée des gelées un volume assez considérable pour agir puissamment sur la constitution des couches argileuses, et d'ailleurs, un suintement qui ne donne que peu d'humidité relativement à la surface verticale de la couche perméable, ne se rencontre d'ordinaire que quand cette couche perméable est formée d'un terrain sablonneux ; par conséquent, la force capillaire qui agit alors d'une manière plus énergique dans un sens inverse de l'action de la pesanteur, diminue en même temps la pression que le liquide exerce sur la couche argileuse.

Nous ne pensons donc pas que l'on doive attribuer une trop grande importance à l'accumulation des eaux intérieures près de la surface des talus; c'est, il est vrai, à l'époque des dégels que les éboulements se produisent en plus grand nombre et atteignent en général des proportions plus considérables; mais nous pensons que l'on ne doit les attribuer qu'à des causes ordinaires, telles que celles que nous avons déjà indiquées.

130. *Eaux courantes.* — Lorsque la partie supérieure d'un terrain traversé par une tranchée présente des

dépressions un peu profondes, les eaux pluviales, en suivant les lignes de plus grande pente, se réunissent vers les points les plus bas pour se rendre au fond des tranchées en descendant sur la surface des talus sur une largeur peu considérable.

Le volume des eaux dépend naturellement de la superficie du ravin, et leur mouvement de l'inclinaison de la ligne d'écoulement ou thalweg, et de la longueur du ravin au-dessus des tranchées.

Les eaux pluviales, en passant à la surface d'un talus, entraînent d'abord les terres désagrégées par les influences atmosphériques, pénètrent ensuite très-profondément dans les fissures qui divisent les masses, et détrempent ainsi très-promptement les terres jusqu'à une certaine profondeur.

L'état d'un talus étant à peu près semblable à celui que représente la figure 66, les masses *a* et *b* ne tardent pas à s'ébouler sous l'influence de la pesanteur, augmentée parfois du mouvement des eaux. La pression que celles-ci, introduites dans les terres, peuvent produire (fig. 67) est généralement trop faible pour que l'on en tienne compte; mais la présence de ce liquide dans les crevasses verticales doit avoir pour résultat d'opérer par le ramollissement des terres une séparation plus complète entre les masses (*a*, *b*), (*c*, *d*).

La surface de rupture ABC (fig. 67) est le plus souvent déterminée par la direction des fissures naturelles ou des crevasses produites par la sécheresse; généralement elle est verticale. Le talus AB (fig. 66), par l'action des eaux courantes, se trouvera donc bientôt modifié; et, à la suite des premiers éboulements, la partie verticale AB du nouveau talus ABC (fig. 67) deviendra une nou-

velle cause favorable à la production de nouveaux éboulements.

Lorsque les eaux sont abondantes, le volume des éboulements acquiert parfois en fort peu de temps des proportions considérables. Nous avons pu observer nous-même un jour, à la tranchée de la Motte-Beuvron (ligne du Centre), pendant une forte pluie d'orage, la formation d'un éboulement de ce genre. Les eaux du coteau supérieur, en descendant sur le talus (côté gauche) de cette tranchée, ont produit un éboulement se composant de masses partielles de 50 à 60 mètres cubes, et qui atteignit, au bout de douze heures, un volume total de 2,500 mètres cubes.

Ce qui vient d'être dit d'une notable dépression du sol doit s'appliquer à tous les cas où une disposition quelconque du terrain détermine le passage des eaux pluviales sur les talus d'une tranchée ; les sillons qui forment la limite des propriétés par exemple, peuvent aussi produire, mais dans de moindres proportions, des effets semblables à ceux dont nous venons de parler.

131. *Eaux stagnantes.* — Supposons (fig. 68) qu'aux abords d'une tranchée le terrain se trouve déprimé de manière que l'espace AB forme une espèce de réservoir où les eaux pluviales ne trouvent aucun écoulement direct à la surface du sol. Après un certain laps de temps les eaux de cette mare disparaîtront, une partie par évaporation, et l'autre par infiltration à travers la couche perméable CD. L'évaporation ne peut prendre relativement qu'une faible portion de la mare AB, puisqu'en moyenne elle n'enlève que 1 décimètre cube par mètre carré et par jour[1], c'est-à-dire une tranche de $0^m,001$

[1] *Chimie élémentaire*, de J. Girardin.

d'épaisseur en vingt-quatre heures sur la surface totale en contact avec l'air. La plus grande partie des eaux réunies dans l'espace ACB pénétrera donc constamment, ou pendant un temps plus ou moins long, mais d'une manière incessante, à travers la couche CD, jusqu'à ce qu'elle atteigne la couche imperméable DI. Il en résultera d'abord une plus grande abondance du suintement E, mais il y aura lieu de craindre, avant tout, l'effet immédiat des eaux de filtration passant sans interruption dans un espace presque limité de F en G, à peu près égal à la surface AB. Il est évident, en effet, qu'entre F et G, les terres constamment imbibées d'eau doivent perdre peu à peu leur force de cohésion ; la surface ED se trouvant d'ailleurs constamment mouillée et l'écoulement des eaux de filtration s'opérant plus rapidement sur cette surface après l'ouverture de la tranchée, l'on conçoit que les forces de cohésion et de frottement peuvent, à un moment donné, se trouver considérablement amoindries suivant la ligne EDC et devenir insuffisantes pour résister à l'action de la pesanteur. Il est donc assez facile de prévoir, dans ces conditions, la rupture de la masse EDCH suivant une surface quelconque qui doit se rapprocher des lignes CD et ED. La cause disparaissant au moment de la production de l'éboulement, et le glissement de la masse EDCH ayant eu lieu comme nous venons de le dire, il est évident que cet éboulement ne devra plus s'augmenter que d'une manière insignifiante et seulement jusqu'à ce que le terrain, près de la ligne de rupture, ait pris une inclinaison suffisante DM (fig. 69).

Si, comme cela se rencontre assez fréquemment, l'action des eaux se trouve favorisée par l'existence

Digitized by Google

entre FG (fig. 68) de crevasses ou de surfaces préexistantes de glissement, et qu'en outre, ces crevasses ou surfaces de glissement descendent à une grande profondeur, le moment de la rupture du massif aura lieu beaucoup plus tôt, et la masse des terres éboulées pourra comprendre non-seulement la couche supérieure CD, mais encore toutes les couches de terrain de différentes natures, depuis la surface du sol jusqu'au niveau de la plate-forme. C'est ainsi qu'à la tranchée de Briel (ligne de Mulhouse), il s'est produit en janvier 1857 un éboulement de cette espèce (fig. 73-75), dont nous aurons plus d'une fois l'occasion de parler par la suite. La masse éboulée se composait de plusieurs couches alternatives de sable et d'argile sablonneuse, et s'est mise en mouvement sur une surface de glissement qui se trouvait à $1^m,30$ en moyenne au-dessus de la plate-forme.

132. *Inclinaison des talus.* — Un talus de déblai trop roide parvient toujours, après un temps plus ou moins long, à prendre son inclinaison naturelle, soit par une suite d'éboulements superficiels (fig. 70), soit par la rupture du prisme tout entier DBG (fig. 71), suivant une ligne DG généralement irrégulière et se rapprochant plus ou moins d'une courbe cycloïdale. Il arrive bien souvent que la rupture définitive suivant DG du massif DBG ne s'obtient pas immédiatement, et qu'avant d'atteindre cette limite, plusieurs glissements partiels peuvent se produire entre DE et BG (fig. 71).

En considérant que les terrains de diverses natures peuvent se maintenir assez longtemps, quelquefois pendant des mois entiers, avec un talus très-roide et même vertical, on est amené à conclure que la pesanteur, dont l'action est nécessairement plus puissante que dans

Digitized by Google

presque tous les autres cas, serait cependant insuffisante pour amener la rupture des masses, si les forces qui lui font équilibre ne se trouvaient amoindries par des causes quelconques. On est donc forcé de reconnaître que la cohésion et le frottement jouent ici un rôle de premier ordre. Leur amoindrissement a lieu en général par un excès d'humidité ou par une trop grande sécheresse, et le plus souvent par les effets de ces deux causes agissant successivement. La sécheresse produit à la surface du sol des crevasses profondes et quelquefois assez larges, qui forment des espèces de coupures capables de séparer des massifs d'une certaine épaisseur. Les eaux de pluie, en pénétrant abondamment dans ces crevasses, achèvent d'opérer cette séparation des masses, soit en délayant les terres, soit en introduisant à travers les couches des matières terreuses de nature différente. Si l'on considère, en outre, que les eaux, en pénétrant dans le sol, augmentent notablement le poids des terres, il sera facile de comprendre que les éboulements des talus ayant une forte inclinaison doivent avoir lieu principalement à la suite des pluies.

En continuant de s'en rapporter à l'observation des faits, il est permis de supposer que dans un grand nombre de cas la surface de rupture, telle qu'elle se produirait sous la seule influence de la pesanteur, doit se trouver modifiée par l'existence des crevasses ou des fissures naturelles à la partie supérieure du sol et par la direction des couches vers la base des talus.

133. *Bancs de glissement.* — Quand les massifs sont divisés par des surfaces de glissement préexistantes, le mode de production et l'époque de la formation des éboulements dépendent principalement de la nature et

de la disposition des couches, de l'espèce et de la direction des bancs de glissement.

Lorsqu'un glacis faiblement incliné sépare deux couches argileuses superposées, les éboulements se produiront partiellement, à la suite des pluies ou des dégels; de sorte que le temps nécessaire pour qu'ils atteignent leur volume définitif ne peut pas être déterminé à l'avance. Nous trouvons un exemple de ce genre d'éboulements à la tranchée de la Voivre (ligne de Mulhouse). La surface de glissement (fig. 72), à peu près semblable à la surface du sol, ne présentait qu'une inclinaison de $0^{m},12$ par mètre. Le premier éboulement s'est manifesté à la surface du talus, vers le mois de mai 1856; le volume des terres éboulées augmenta ensuite successivement jusqu'au mois de juin 1857, époque à laquelle les travaux de consolidation ont été commencés; le volume de l'éboulement était alors de $60{,}000^{mc}$.

Avec un glacis bien moins incliné cependant, l'éboulement à gauche de la tranchée de Briel déjà cité s'est produit dans l'espace de quelques heures seulement; mais la disposition particulière du terrain suffit pour expliquer ce brusque mouvement. Comme l'indique la figure 42, la masse ABCD était isolée du terrain adjacent par une faille AB (fig. 42) *abc* (fig. 73) parallèle au chemin de fer à partir du point de passage de la tranchée jusqu'en un point *b* (fig. 73), où elle retournait vers la surface du talus en formant avec l'axe du chemin de fer un angle d'environ 100 degrés. Cette masse, reposant en outre sur un banc de glissement BD (fig. 42), MN (fig. 74), formé d'une mince couche d'argile très-pure de $0^{m},02$ à peu près d'épaisseur, il a suffi qu'une certaine quantité d'eau, pénétrant dans les terres suivant AB

(fig. 42), achève de détruire la cohésion qui s'exerçait encore suivant cette ligne de séparation naturelle pour que cette masse se mette tout à coup en mouvement sous l'influence de la pesanteur.

Quand un massif de terrain ABC (fig. 76) repose sur une surface de glissement très-inclinée AC, il peut arriver qu'il se mette en mouvement aussitôt après l'ouverture de la tranchée; le plus souvent la cohésion et le frottement qui s'exercent selon AC suffiront pendant un certain temps à contrebalancer l'action de la gravité; mais lorsque, par une cause quelconque, ces deux forces se trouveront suffisamment amoindries, l'éboulement aura lieu tout à coup suivant la ligne AC et comprendra la masse entière ABC.

Les tranchées de la ligne de Paris à Mulhouse, entre Ronchamp et Champagney, fournissent de nombreux exemples de surfaces de glissement préexistantes. Ces surfaces séparent en général des couches superposées d'argilolite; elles sont aussi fréquemment déterminées par des failles d'une inclinaison variable par rapport à l'axe du chemin de fer et à l'horizontale. Les fissures sont remplies par de l'argile qui devient très-onctueuse, très-glissante lorsqu'elle est humide. La tranchée du Chevannel nous a paru très-remarquable sous ce rapport; nous en ferons plus tard une description plus complète.

Remblais.

134. *Terrains inclinés.* — Il arrive quelquefois que l'on est forcé de faire reposer des remblais sur un sol fortement incliné (fig. 48 et 77). Dans un cas semblable,

Digitized by Google

ces remblais tendent nécessairement à se déplacer, à moins que la stabilité de la masse ABCD ne soit favorisée par des circonstances extrêmement favorables, telles que la bonne qualité des terres dont sont formés les remblais, une température convenable pendant la construction, la solidité du sol naturel dépendant de l'épaisseur et de la nature des terres de la couche supérieure.

L'équilibre d'un remblai disposé comme à la figure 48 n'est maintenu que par la cohésion et le frottement qui s'exercent suivant AD. Dans les circonstances ordinaires, bien des causes tendent à amoindrir l'action de ces deux forces : telles sont par exemple le peu de liaison entre les deux terres, le passage suivant AD des eaux descendant de la partie supérieure du coteau, et de celles qui pénètrent à travers le remblai par les crevasses produites par des tassements inégaux. D'un autre côté, l'action de la pesanteur pouvant être égale à une fraction considérable du poids absolu ABCD, il arrivera donc le plus souvent que cette masse viendra à se déplacer tout entière ou à peu près, suivant la direction de la ligne AD (fig. 77). La déformation plus ou moins complète du profil dépendra naturellement de la nature des terres et principalement de leur degré de cohésion.

135. *Eboulements dépendant de la nature du sol.* — D'après une opinion assez répandue, la plupart des éboulements de remblais dépendent de la nature des terrains sur lesquels ils reposent ; nous aurons l'occasion de faire voir plus tard tout ce qu'une telle supposition peut avoir d'exagéré. Ainsi que nous l'avons déjà dit, les éboulements de remblais provenant de la nature des terrains sur lesquels ils sont établis ont lieu dans deux cas différents : ou le terrain naturel est horizontal, et alors c'est

que la couche supérieure du sol est compressible, ou bien le terrain est très-incliné et par conséquent le sous-sol est argileux, ou il existe à une certaine profondeur des bancs de glissements préexistants.

Le premier cas se présente assez fréquemment lorsque l'on est obligé de traverser des vallées dont le fond est formé de terrain tourbeux ou d'un terrain d'alluvion léger et compressible, et qu'en même temps un défaut de pente s'oppose au prompt écoulement des eaux intérieures sur la première couche imperméable.

Il est facile de comprendre l'effet qui se produit dans de telles circonstances. Sous la pression du poids du remblai, le terrain naturel se déplace et s'écarte de chaque côté (fig. 78), à mesure que la base du remblai descend plus profondément au-dessous du niveau moyen de la surface du sol. Le remblai s'affaisse donc, à mesure que l'on augmente son volume, et n'arrivera au repos qu'au moment où il y aura équilibre entre son poids et la résistance du sol ; cette résistance est égale à la réaction naturelle des terres suivant AB, augmentée d'une partie de la pression exercée par le volume des terres refoulées à droite et à gauche et pour ainsi dire enlevées au-dessus de leur niveau naturel.

Il peut arriver que le profil d'un semblable remblai ne subisse pas de profondes modifications et qu'il ne s'opère point de séparation entre ses parties ; mais l'abaissement continuel de la plate-forme, à mesure que de nouveaux matériaux sont apportés pour la maintenir à la hauteur nécessaire, doit toujours exiger beaucoup de soin et peut être la cause de graves inconvénients. Quand, au lieu d'un terrain convenable, on ne peut disposer, pour la confection du remblai, que de terres sus-

ceptibles de devenir fluentes par un excès d'humidité, on conçoit que, dans ce cas, les difficultés doivent être beaucoup plus grandes et que la solidité de ce remblai ne peut être obtenue qu'après un temps beaucoup plus long et au moyen d'un volume de terres plus considérable.

136. Les éboulements qui sont causés par la nature du sous-sol ne se produisent, comme nous l'avons dit précédemment, que quand le terrain est très-incliné.

Supposons qu'un remblai soit établi sur un terrain disposé comme à la figure 49, et qu'il se trouve à peu de profondeur une couche argileuse. Supposons, en outre, que la séparation de la couche de terrain perméable d'avec la couche argileuse soit une surface EF bien déterminée. Il est évident que la masse entière ABCD sera sollicitée au mouvement, suivant la direction EF, par la pesanteur dont l'action dépend de l'inclinaison de cette même ligne EF. Les forces qui s'opposeront au mouvement seront : la cohésion et le frottement qui s'exercent suivant GH, — la cohésion du terrain perméable suivant AG, — et la résistance que la partie du terrain naturel en aval du remblai oppose suivant DH à la pression des masses supérieures. Si, à cause de la faible somme que peuvent produire ces résistances d'une part, et de l'autre, une trop forte inclinaison de EF, la pesanteur est capable de mettre en mouvement le remblai ABCD, ce mouvement s'opérera sur la surface EF (fig. 79), et il se produira, vers la ligne GA, une rupture de la couche de terrain perméable, pendant que, au pied du talus CD, le terrain naturel refoulé par la masse GABCDH présentera des boursouflements

assez prononcés qui se remarqueront sur une plus ou moins grande étendue.

Le plus généralement il n'y aura donc, dans ce cas, comme dans les deux précédents, qu'un simple déplacement de la masse totale du remblai, et l'on peut admettre, comme le prouvent d'ailleurs des exemples assez fréquents, que l'aspect du remblai devra être, en définitive, celui que représente la figure 79.

137. *Eboulements dépendant de la disposition des couches.* — Les éboulements de remblais dont nous venons d'indiquer sommairement le mode de production ont rapport à des causes qui existent pour ainsi dire en dehors de l'espace occupé par ces remblais. Il nous reste maintenant à nous occuper des éboulements qui proviennent principalement, soit du mode de construction, soit de la nature des matériaux employés pour la composition des remblais.

Nous avons énuméré, dans le chapitre précédent, les différentes causes d'éboulements se rapportant à la disposition des masses partielles qui composent les remblais. Mais on a pu remarquer que dans les différents cas dont il a été question aux numéros 109 et 110, il y a toujours formation d'une surface de glissement entre le noyau du remblai et les prismes latéraux. La forme curviligne du profil de cette surface s'explique tout naturellement par le mode de construction des remblais ; elle est déterminée par la courbure suivant laquelle les terres se sont disposées pour former les talus de la partie centrale des remblais, lorsqu'ils sont faits à des reprises différentes. Cette surface de glissement subsiste donc après l'achèvement des remblais, soit que les terres des prismes latéraux diffèrent de celles du noyau

Digitized by Google

central par leur degré de densité, à cause de l'inégalité du tassement, ou bien, que la séparation soit en outre favorisée par des couches de terre de nature et de consistance différentes.

Supposons maintenant qu'il s'agisse de terrains argileux. L'introduction des eaux de pluie ou des dégels à travers les remblais produira nécessairement le ramollissement des terres. Par conséquent, les terres des parties latérales du remblai, en même temps que leur degré de consistance s'amoindrira, se trouveront placées sur des surfaces dont la forme est très-favorable à l'action de la pesanteur, et suivant lesquelles la résistance de frottement peut devenir très-faible par l'effet de l'humidité.

Ainsi que cela est du reste confirmé par l'expérience, les éboulements de remblais ne comprennent à l'origine que la masse des prismes latéraux, et les glissements ont lieu suivant les surfaces courbes qui séparent les masses partielles de la portion centrale des remblais. Quant à la forme extérieure que prennent les terres éboulées, elle est, en général, à peu près semblable à celle de la figure 81 ; mais l'inclinaison de leur talus est nécessairement très-variable ; elle dépend de la consistance des terres et par conséquent de leur nature et de leur degré d'humidité.

138. *Tassements inégaux.* — Un remblai argileux établi en une seule fois sur toute la largeur de son profil, mais reposant sur un sol incliné dans le sens transversal, peut, comme nous l'avons déjà dit numéro 111, éprouver des tassements inégaux qui donnent lieu à la formation de crevasses assez profondes pour devenir des causes d'éboulements. Il n'y a pas ici, comme dans

le cas précédent, des surfaces de glissement préexistantes. On remarque, il est vrai, après la production des éboulements, que le mouvement s'est opéré sur la masse inerte suivant une surface courbe lisse et savonneuse ; mais la formation de la partie inférieure de cette espèce de glacis n'a lieu, dans la plupart des cas, que par le fait même du mouvement des terres. Revenons à la supposition d'un remblai argileux disposé comme à la figure 54 ; les eaux de pluie, en pénétrant en abondance dans l'intérieur des terres et lorsqu'elles seront descendues à l'extrémité inférieure des crevasses suivant lesquelles elles se dirigent de préférence s'étendront dans tous les sens à l'intérieur du remblai et plus particulièrement vers la surface du talus AB ; il en résultera donc le ramollissement des terres favorisé d'ailleurs par les nombreuses fissures produites par le tassement.

La production d'un éboulement du talus AB (fig. 80) s'explique donc aisément, et la direction du glacis sera déterminée dans sa partie supérieure par celle des crevasses les plus importantes, par leur largeur ou profondeur, ou par la quantité d'eau qu'elles reçoivent.

139. Les éboulements de remblais dont nous venons d'indiquer les différents modes de formation sont ceux qui se produisent le plus fréquemment pendant la construction des chemins de fer, et les observations qui précèdent suffisent pour expliquer les effets qui se rapportent à d'autres causes, telles que celles dont il a été question à la fin du chapitre III. Il serait d'ailleurs bien difficile de préciser à l'avance la forme et l'étendue des éboulements causés par l'action des eaux intérieures et par les influences atmosphériques ; il faudrait pour cela

tenir compte de la nature des terres, de la hauteur et de la disposition des remblais, de l'état de la plate-forme, des époques auxquelles se rapporte la construction des différentes parties du remblai, etc.

Il est donc inutile d'insister davantage sur le mode de production des éboulements de remblais ; ce que nous avons dit répond suffisamment à notre but, et il nous semble que les nouvelles descriptions que nous pourrions ajouter n'offriraient pas assez d'intérêt et paraîtraient même inutiles ou superflues.

Digitized by Google

CHAPITRE V.

ÉTUDE DES TERRAINS.

140. L'exposé que nous venons de faire des principes sur lesquels repose notre système de travaux de consolidation ne nous paraîtrait pas suffisant s'il n'était pas complété par quelques remarques relatives à l'étude particulière que l'on doit faire des terrains à consolider.

Il est toujours très-important, avant d'entreprendre les travaux de consolidation d'un talus, d'avoir une idée bien nette de l'état du terrain ; il est nécessaire que le constructeur puisse discerner à l'avance les causes qui ont donné lieu à la formation des éboulements ou qui tendent à les produire. C'est par l'examen attentif de ces causes que l'on obtiendra toujours les bons résultats que l'on doit attendre des travaux répressifs ou simplement préventifs que l'on a jugé utile d'entreprendre. De quoi s'agit-il en effet dans un pareil cas? De supprimer par des procédés quelconques les causes d'éboulements, ou bien de les neutraliser par des moyens plus faciles ou plus avantageux.

En se conformant à ce principe si simple, tout con-

Digitized by Google

structeur judicieux reconnaîtra qu'il ne devrait pas exister de système de consolidation dans le sens absolu du mot, et que, à l'exception de quelques procédés qu'aucun autre ne pourrait remplacer, il est possible, dans bien des circonstances, d'obtenir de bons résultats de certaines dispositions particulières dont on n'aurait pas encore parlé ou de l'emploi de certains matériaux que personne n'aurait encore songé à utiliser.

141. Les recherches auxquelles on doit se livrer avant d'entreprendre les travaux de consolidation d'un talus doivent avoir principalement pour objet : la nature des terres, la position et la direction des bancs de suintement et des surfaces de glissement.

Nous ne reviendrons pas sur ce qui a été dit dans le cours des deux chapitres précédents, relativement à la nature des terres et aux surfaces de glissement préexistantes; nous nous contenterons de faire quelques remarques sur la recherche des bancs de suintement et sur la position des glacis des éboulements.

142. 1° *Bancs de suintement.* — Il n'existe pas, à proprement parler, de règle bien précise pour la reconnaissance des suintements. Le moyen qui paraît le plus naturel consiste à rechercher les traces d'humidité qui se manifestent à la surface des talus ; ce moyen peut être parfois insuffisant, par exemple lorsque la couche aquifère est disposée de manière que le passage de l'eau n'ait lieu qu'aux dégels et à la suite de fortes pluies, et que, pendant le reste du temps, le peu d'humidité des bancs de suintement disparaisse par l'évaporation jusqu'à une certaine profondeur au-dessous de la surface des talus.

Pour simplifier les recherches, M. de Sazilly conseille

avec raison de se guider uniquement sur la nature des terres et d'admettre qu'il existe un suintement dans tout terrain plus ou moins perméable, lorsque la couche sur laquelle il repose est de nature glaiseuse et moins perméable.

Mais ici se présente une autre difficulté. Il n'est pas non plus toujours facile en effet d'apprécier exactement la ligne de séparation de deux couches successives. Quand il arrive que les couches ne se dessinent pas bien nettement, M. de Sazilly recommande alors de chercher à reconnaître la ligne de passage du terrain perméable au terrain imperméable par les traces d'humidité des suintements, « de noter avec un grand soin la nature des « terres où l'on voit des suintements, et de considérer « ensuite comme banc de suintement toute partie de « talus qui se trouve dans des conditions semblables [1]. »

Toute la difficulté consiste donc à rechercher les bancs de suintement par les traces d'humidité qui apparaissent à la surface des talus. C'est à cet objet qu'ont rapport les renseignements qui vont suivre.

Pour faciliter nos observations, nous distinguerons deux sortes de bancs de suintement : 1° suintements visibles pendant toute l'année ou tout au moins à l'époque à laquelle on se propose de faire exécuter les travaux d'assainissement; 2° suintements que l'on pourrait appeler intermittents, ne donnant aucune trace d'humidité au moment de commencer les travaux d'assainissement.

143. 1° Il peut arriver qu'en raison de l'abondance des eaux intérieures de filtration, de la nature du ter-

[1] Mémoire de M. de Sazilly, chap. II, p. 122.

rain perméable et d'une direction particulière des couches imperméables, que les suintements s'étendent sur une grande hauteur à la surface des talus; un suintement de cette espèce est ordinairement désigné sous le nom de suintement général. Cette dénomination s'applique aussi parfois à une réunion de plusieurs suintements ordinaires très-rapprochés, et occupant ensemble une assez notable surface.

L'étendue en hauteur des suintements ordinaires est égale à toute l'épaisseur de la couche aquifère, quand cette épaisseur est peu considérable, et dans le cas contraire, elle varie avec le degré de perméabilité de la couche aquifère et avec l'abondance des eaux de filtration. C'est ainsi, par exemple (fig. 82), que la hauteur du suintement S sera égale à l'épaisseur de la faible couche perméable AB; que la pesanteur agissant presque seule à travers la couche éminemment perméable CD, le suintement S' ne s'étendra, à moins que les eaux ne soient extrêmement abondantes, que sur une partie de la hauteur de cette couche; enfin, que la hauteur du suintement S'' doit varier, comme dans le cas précédent, avec l'abondance des eaux de filtration, et qu'en outre, l'humidité se manifestera relativement sur une plus grande surface de talus, à cause de l'énergie plus grande de la force capillaire.

Nous avons pensé que ces observations sont nécessaires et nous les croyons suffisantes pour établir une distinction convenable entre un suintement ordinaire et ce que l'on est convenu d'appeler un suintement général; cette distinction est importante, parce que les procédés de consolidation doivent différer avec l'espèce de suintement, et peut-être aussi parce que, telle que

nous l'avons établie, elle servira utilement pour résoudre des difficultés qui se présentent assez souvent dans la pratique des travaux de consolidation.

Quand les suintements sont quelque peu abondants, l'eau se répand sur une grande partie de la surface du talus, de sorte que presque toute la masse paraît également détrempée ; en outre, les terres mouillées, en se déplaçant, font disparaître les limites des différentes couches de terrain superposées, de sorte que les couches perméables paraissent se fondre sans transition sensible avec les couches imperméables. Lorsqu'une circonstance semblable se présente, on peut être tenté, à première vue, de croire que l'humidité des terres provient d'un suintement général. Parfois aussi les eaux intérieures de filtration, en arrivant à la surface d'un talus, paraissent sortir d'une couche de nature argileuse imperméable.

Lorsque l'on recherche les bancs de suintement, on ne doit pas oublier que les terres de différente nature se désagrégent promptement au contact de l'air, et qu'il se forme au bout de peu de temps, à la surface des talus, une couche perméable d'une certaine épaisseur, telle que AB (fig. 83).

A l'inspection de cette figure, il est facile de comprendre comment il peut arriver que la surface d'un talus soit humide sur une grande étendue comme dans le cas d'un suintement général, et pourquoi les eaux d'un suintement apparaissent quelquefois à la surface d'un talus, à une certaine distance plus bas que la véritable couche aquifère.

Les eaux intérieures suivent leur cours ordinaire dans la direction des couches imperméables, jusqu'à ce qu'elles

Digitized by Google

arrivent près de la surface des talus aux points où les terrains argileux ont acquis, au contact de l'air, un certain degré de perméabilité ; alors elles tendent naturellement à s'écouler dans la direction de la ligne CD que nous supposons former la séparation entre les terrains vierges et les terrains désagrégés. Par conséquent, les eaux des suintements S, S' et S'' s'écouleront à travers la zone ABCD de terrains ameublis, et en même temps à la surface des talus quand les eaux de filtration sont très-abondantes, et comme l'indique encore la figure 83, les eaux du suintement S, au lieu de sortir entre les points I et I', pourront n'arriver qu'en un point I'' au-dessous de la limite inférieure de la couche P perméable et aquifère.

Pour connaître d'une manière aussi exacte que possible l'étendue des suintements, leur abondance et principalement leur limite inférieure, il est très-important de n'examiner que le terrain vierge, et pour cela d'enlever à la surface des talus, en des points plus ou moins rapprochés, les terres désagrégées qui le recouvrent. On peut faire usage pour cette opération d'une pelle ou d'une pioche de terrassier ; mais il est préférable de se servir d'une truelle de maçon ; cet outil est bien approprié pour les recherches de suintements ; il a d'abord l'avantage de n'être point fatigant, et permet, si l'on peut s'exprimer ainsi, d'opérer avec plus de précision dans les cas difficiles, par exemple, lorsqu'il s'agit de découvrir de faibles traces de suintements jusque dans les fissures naturelles des terres.

144. 2° L'on conçoit aisément qu'il est important de connaître bien exactement le nombre, les différentes directions et l'étendue des suintements qui se mani-

festent à la surface des talus; car ces diverses considérations doivent nécessairement influer sur le choix des procédés d'assainissement, quel que soit d'ailleurs le système de consolidation que l'on adopte. Mais les suintements qui n'apparaissent que pendant peu de temps et à des époques fort éloignées, ceux qui presque en tout temps ne donnent qu'une humidité si faible qu'elle est absorbée tout entière par l'air avant d'arriver à la surface des talus, ces deux sortes de suintements méritent-ils de fixer l'attention du constructeur? Il semble que les eaux intérieures qui n'arrivent à la surface des talus qu'à de longs intervalles et pendant des espaces de temps assez restreints, ne doivent causer que des dégradations sans conséquence et que des suintements presque toujours invisibles doivent être assez insignifiants pour qu'il ne soit pas nécessaire d'en tenir compte. Pour répondre à ces deux questions, il est bon de faire remarquer d'abord que les eaux intérieures qui arrivent à la surface d'un talus ne sont autre chose que des eaux pluviales qui, après s'être introduites par des crevasses ou fissures naturelles ou bien à travers les terrains perméables de la surface du sol, ont dû suivre ensuite la pente des couches imperméables correspondantes à celles des talus. Par conséquent, toutes choses restant égales d'ailleurs, un suintement sera d'autant plus abondant que la couche imperméable sera plus inclinée, et que sa limite en A (fig. 84), près du sol, se trouvera plus près de la tranchée; et pour des raisons analogues, quand la couche imperméable n'a qu'une faible pente, que son point le plus relevé A (fig. 86) est fort éloigné du point S, les eaux du suintement SA ne devront s'écouler que fort lentement vers le talus BC de la tran-

Digitized by Google

chée. Mais alors, dans le premier cas (fig. 84), les suintements pourront n'avoir qu'une durée très-limitée et en raison inverse de la rapidité du mouvement des eaux intérieures, et dans le second cas (fig. 86), les eaux de filtration arriveront vers la surface du talus BC avec moins d'abondance, il est vrai, mais le plus souvent d'une manière permanente.

L'on doit donc reconnaître qu'un suintement qui n'apparaît que périodiquement doit être une cause sérieuse d'éboulements, surtout si on réfléchit que les moments où ils donnent le plus d'eau correspondent aux fortes pluies ou aux dégels, et que les suintements ne présentant qu'une faible quantité d'humidité peuvent être aussi très-dangereux, principalement lorsque la nature des terres oblige de revêtir la surface des talus, à cause de l'action incessante des eaux de filtration. L'on doit donc toujours rechercher avec le plus grand soin les traces des suintements qui existent à la surface d'un talus, mais que l'on n'aperçoit point à certaines époques pour les causes qui viennent d'être expliquées, car l'expérience prouve qu'en les négligeant on s'expose à bien des mécomptes.

145. Ces nombreuses réflexions relatives aux suintements de cette espèce se trouvent justifiées par leur importance, mais aussi par les difficultés que présentent les recherches auxquelles ils donnent lieu. D'après ce qui précède, la règle la moins vague que l'on puisse formuler serait celle-ci : *Toutes les fois qu'un terrain imperméable succède à un terrain perméable, il est plus que probable qu'il existe un suintement à l'intersection des deux couches ; quand les deux terrains se fondent sans transition sensible, le passage de la couche perméable au*

terrain imperméable est déterminé par les traces d'humidité naturelle des terres.

La question principale revient donc, en définitive, à découvrir à la surface des talus les traces d'humidité produites par les eaux de filtration. Les moyens à employer pour arriver à ce résultat sont aussi nombreux que variés ; ils dépendent en général des circonstances dans lesquelles on se trouve, mais ils se rapportent notamment à la nature et à l'état des terres et aux influences atmosphériques.

146. Le moyen le plus certain de connaître tous les suintements des talus, c'est sans contredit celui qui consiste à examiner l'état des terrains pendant le déblai des tranchées ; c'est alors que les suintements sont le plus abondants et que l'on distingue le mieux la nature des différentes couches par les nuances diverses qu'elles présentent. Si alors on a soin de noter bien exactement les points les plus remarquables des couches aquifères, on pourra ensuite considérer comme des bancs de suintement toute l'étendue des couches ainsi désignées par un point de leur surface. En agissant de la sorte, il est hors de doute que l'on arrivera infailliblement à la connaissance de tous les suintements d'un talus. Mais ces indications n'ayant pas été prises en temps convenable, on opérera avec moins de certitude quand les recherches seront entreprises seulement après que la surface des terrains aura été depuis longtemps exposée aux influences atmosphériques ; les terres désagrégées, en se déplaçant, empêcheront que les traces d'humidité apparaissent aussi nettement, et l'évaporation, favorisée par l'ameublissement des terres, suffira très-souvent pour que les eaux d'un suintement ne puis-

sent même pas arriver jusqu'à la surface du talus.

Il faut alors examiner les talus avec d'autant plus de précaution et employer des procédés beaucoup plus minutieux, dont les meilleurs sont fondés sur l'observation des effets de l'évaporation.

Les suintements se reconnaissent assez bien dans les coupures que font les taluteurs avant de régler la surface des talus; en observant attentivement les parois latérales de ces coupures, on distingue encore suffisamment bien la nature des couches différentes.

Il est possible parfois de reconnaître des suintements pendant les grandes chaleurs du jour, c'est quand la sécheresse modifie assez sensiblement la couleur des terres et que l'humidité de la couche aquifère se renouvelle assez promptement; mais ce cas est assez rare et suppose l'action énergique des rayons solaires, de sorte qu'il ne s'applique guère qu'à l'un des talus des tranchées. Le moment le plus généralement favorable pour rechercher les faibles traces de suintement, c'est le matin au lever du soleil; lorsqu'on se propose de visiter les tranchées à une pareille heure, c'est une bonne précaution de faire répandre à l'avance du sable ou même de la cendre sur les surfaces où l'on soupçonne de très-faibles suintements; la couleur plus foncée que prend le sable et plus particulièrement la cendre dénote presque toujours les moindres traces d'humidité intérieure.

Il existe évidemment un grand nombre de moyens de reconnaître l'existence et la direction des couches aquifères, tels par exemple que les efflorescences qui se forment quelquefois à la surface des talus par l'effet de la gelée, la végétation plus ou moins abondante selon

le degré d'humidité des terres, etc.; mais ce ne sont le plus souvent que des cas particuliers, et rien n'empêche d'admettre que l'on peut se dispenser de tenir compte des suintements qui sont assez faibles pour qu'on ne les découvre pas en employant les procédés qui viennent d'être indiqués.

146 *bis*. On nous a quelquefois demandé s'il doit exister des suintements sur chaque talus dans une tranchée ouverte dans un terrain aquifère, lorsque les couches de nature différente ont une pente transversale assez importante. A cette question, on ne peut que répondre affirmativement, attendu que ce fait existe, qu'il se rencontre même très-fréquemment dans presque toutes les tranchées aquifères.

Les suintements que l'on remarque sur les talus les moins élevés des tranchées sont d'ordinaire moins importants que sur le talus opposé, mais ils sont généralement capables de causer au moins des dégradations superficielles qu'il est toujours bon de prévenir. Les suintements de cette espèce peuvent être occasionnés par une inclinaison irrégulière des couches aquifères, différente de la pente générale indiquée par celle de la surface du sol.

Mais une semblable irrégularité ne doit se rencontrer que par exception, et il faut évidemment recourir à une autre explication du mouvement des eaux sur les talus les moins élevés des tranchées.

Nous croyons avoir trouvé l'explication du mouvement des eaux d'un suintement SS' (fig. 86 *bis*) vers la tranchée ABCD, en assimilant ce mouvement à celui qui a lieu dans un linge L dont une des extrémités est plongée dans un vase V rempli d'eau (fig. 86).

En faisant en effet l'expérience indiquée à la figure 86, on remarque facilement que si l'extrémité libre du linge repose sur la table T, toute l'eau du vase V passera en très-peu de temps à travers ce linge et s'épanchera sur la table. Mais si l'extrémité libre du linge ne descend pas jusqu'au niveau du fond F de la soucoupe, ce linge sera simplement mouillé.

Il n'est donc pas difficile d'admettre que les eaux intérieures du suintement SS' contenues dans la couche perméable P peuvent remonter jusqu'en S' pour descendre ensuite à travers la couche désagrégée et par conséquent perméable au-dessous de la surface AB; car le mouvement de l'eau a lieu suivant SS'B à travers une couche perméable continue, quoique formée de terrains de nature différente, de la même manière que l'eau du vase V s'élève jusqu'au-dessus du bord pour descendre sur la table en passant à travers un tissu quelconque.

Nous n'étendrons pas plus loin cette explication; car nous ne croyons pas qu'il soit bien utile de rechercher pourquoi, par exemple, la force qui fait refluer les eaux de S en S' et B ne produit pas un mouvement contraire, c'est-à-dire en BS'S, et en quel point de la ligne S'S les eaux intérieures commencent à être soumises à l'action de la pesanteur, de manière qu'elles suivent pour ainsi dire leur direction naturelle sur la couche imperméable I (fig. 86 *bis*).

Nous pensons qu'il nous suffit de constater un fait facile à vérifier dans toutes les tranchées aquifères, et de démontrer qu'il n'est pas impossible de supposer que les eaux intérieures remontent à travers les couches perméables qui les contiennent pour former des suintements

Digitized by Google

sur les talus de tranchées opposés à la pente des coteaux.

147. 2° *Glacis.* — Avant de faire le choix des dispositions à prendre pour la consolidation d'un talus éboulé, il est incontestable qu'il faut avoir une idée suffisamment exacte de la forme et des dimensions des glacis. Il ne serait pas rationnel en effet d'entreprendre des travaux répressifs sans connaître, au moins approximativement, le volume de l'éboulement, et surtout la surface de séparation entre le terrain solide et les terres éboulées.

En général, les dimensions d'un glacis sont suffisamment déterminées par les deux points extrêmes du profil transversal de la surface de glissement. La partie supérieure d'un glacis étant presque toujours apparente, il suffit donc d'en rechercher la limite inférieure.

Les glacis d'éboulements présentent d'ordinaire une surface lisse et savonneuse, presque toujours striée dans le sens du mouvement des terres. Parfois aussi, ils sont caractérisés par une couche de terre très-humide, onctueuse, ordinairement formée d'argile détrempée, ramollie par l'action de l'eau sous l'influence de la pression et du mouvement des terres éboulées.

Pour trouver les glacis d'éboulements, il n'existe guère d'autre moyen que celui qui consiste à fouiller les terres éboulées jusqu'au terrain qui n'a pas bougé. Du reste, quand il s'agit de consolider un talus éboulé, on commence généralement par enlever au moins les terres qui dépassent le profil primitif; il est facile dans ce cas, avec un peu d'attention, de reconnaître la limite qui sépare la masse inerte des terres en mouvement.

Quand il s'agit d'un éboulement dans un talus de tranchée, le terrain se reconnaît d'ailleurs au degré

de consistance des terres; mais pour des éboulements de remblais, si le glacis n'offre pas les caractères définis précédemment, on peut être fort embarrassé pour discerner de prime-abord la limite inférieure d'un éboulement; pour résoudre cette difficulté, il suffit de provoquer presque insensiblement le mouvement des terres. Supposons qu'un talus, même en tranchée, soit éboulé comme à la figure 87, et que l'on ait déblayé sur une certaine longueur la partie AC du talus AB, l'équilibre provisoire de la masse éboulée ADEFHG se trouvera tout à coup rompu, et le mouvement continuera faiblement, il est vrai, mais suffisamment pour que la ligne P'C'G' se trouve à une distance appréciable de sa position primitive PCG : la saillie GG' indiquera toujours d'une manière très-précise la limite inférieure de l'éboulement.

Lorsqu'un talus de déblai est éboulé jusqu'au niveau de la plate-forme, l'expérience précédente peut quelquefois n'être pas suffisante; il est alors toujours prudent de sonder le terrain jusqu'à une certaine profondeur en rapport avec le volume de l'éboulement. En effet, admettons (fig. 88), qu'un éboulement ait lieu suivant AHFG, par suite de l'action des eaux de filtration sur la couche argileuse G, le profil primitif ABC se modifiera d'abord suivant A'B'C'; mais si les terres de l'éboulement ne sont pas trop fluides, la résistance qui s'opérera suivant *a*D modifiera, mais le plus souvent sans l'arrêter, le mouvement de la masse M; il se formera alors, à la hauteur du point A', une nouvelle surface de glissement A'EF présentant tous les caractères que nous avons déjà indiqués.

Nous pourrions citer, comme un exemple remar-

quable de ce genre particulier d'éboulement, celui qui s'est produit, au mois de juin 1859, à la tranchée du Grivé (ligne de Mulhouse) dont il sera de nouveau question plus loin.

On reconnaît que l'éboulement ne descend pas plus bas que DH (fig. 88) quand le terrain au-dessous de cette ligne offre un certain degré de consistance et que la pioche résonne d'une manière particulière que tous les terrassiers savent très-bien apprécier ; dans les terres du prisme AHFE, au contraire, les coups de pioche ne produisent aucun son, les terres se détachent avec beaucoup de facilité, et leur consistance s'approche sensiblement de celles des terres de remblai.

CHAPITRE VI.

PROCÉDÉS DE CONSOLIDATION.

1° TRANCHÉES.

148. Des principes et des observations qui ont été développés précédemment, il est rationnel de conclure que les travaux pour la consolidation des talus de tranchée doivent avoir pour objet :

1° De préserver les terrains de l'action des eaux intérieures de filtration ;

2° De mettre les talus à l'abri des influences atmosphériques.

Pour prévenir les effets des eaux intérieures, il s'agit de recueillir celles-ci, près de la surface des talus, à une profondeur suffisante pour qu'elles soient toujours à l'abri des gelées, et de rendre aussi faible que possible leur parcours direct sur les terres argileuses après leur sortie des couches aquifères.

Pour les préserver des effets de la sécheresse et des pluies et particulièrement des gelées, les talus doivent

être recouverts d'une couche de terres suffisamment pilonnées, de manière qu'elles n'éprouvent ensuite que le moindre tassement possible, et choisies parmi celles qui ne sont point sujettes à devenir fluentes au contact de l'eau.

Nous indiquerons successivement les procédés à l'aide desquels on atteint ces deux résultats distincts dans les circonstances qui se présentent le plus fréquemment. La différence qui existe entre l'état des talus éboulés et ceux qui ne le sont pas ou qui n'ont subi que de légères dégradations, donne nécessairement lieu à l'application de procédés différents ou sensiblement modifiés ; de là aussi l'utilité de deux divisions principales qui auront pour titres : *Travaux préventifs*, *Travaux répressifs*.

TRAVAUX PRÉVENTIFS,

Tranchées argileuses.

1° Tranchées d'assainissement.

149. *Caniveaux.* — L'assainissement des talus s'obtient au moyen de la construction, sur les terrains imperméables, de rigoles en briques maçonnées et remplies de matières filtrantes sur toute la hauteur des suintements (fig. 91). Ces rigoles, auxquelles on donne le nom de *caniveaux d'assainissement*, réunissent en tous points les conditions qui viennent d'être énoncées ; la distance AB peut être augmentée ou diminuée, selon que l'on a en vue d'éviter les effets de la gelée ou d'éco-

nomiser les frais de construction, en diminuant le volume du déblai du triangle ABC, et, en outre, la rigole en briques peut être aussi rapprochée que l'on veut de la couche aquifère. A chaque point bas des caniveaux qui suivent des pentes opposées correspond une rigole construite également en briques avec empierrement; cette rigole (fig. 94), suivant la pente du talus, amène les eaux directement dans les contre-fossés du chemin de fer. Les caniveaux de cette espèce sont encore nécessaires quand les couches aquifères n'ont pas assez de pente pour que les eaux recueillies dans les caniveaux ordinaires puissent s'écouler assez promptement.

Un revêtement en gazon DC (fig. 91) forme avec la construction de la rigole et l'empierrement les trois parties essentielles des canivaux d'assainissement.

150. 1° *Matériaux.* — *Briques.* — Les briques qui offrent le plus d'avantage pour la construction des caniveaux sont évidemment celles qui peuvent remplir le but proposé avec des dimensions convenablement réduites. On fait ordinairement usage de briques spéciales, ayant 0m,25 de longueur, 0m,08 ou 0m,10 de largeur et 0m,025 d'épaisseur. Quand on n'en a pas d'autres à sa disposition ou que la quantité dont on a besoin est trop faible pour que l'on puisse commander des briques spéciales, on peut néanmoins se servir de briques ordinaires; mais elles ont, comparées aux briques spéciales, des inconvénients notables; le prix en est généralement plus élevé, leurs trop grandes dimensions en largeur et en épaisseur augmentent les frais de transport et la main-d'œuvre pour fouille de rigoles. Les frais de transport augmentent évidemment en raison de leur volume,

et par conséquent de leur poids pour une longueur donnée de caniveaux; l'augmentation du déblai des rigoles est suffisamment démontrée par la comparaison des figures 95 et 96. L'emploi des briques ordinaires entraîne non-seulement l'augmentation du triangle ABC et celle du rectangle DF, mais encore il nécessite une plus grande quantité de mortier hydraulique dont le prix est toujours assez élevé.

On a quelquefois recommandé l'emploi de briques creuses circulaires pour remplacer les briques spéciales; nous nous sommes servi de ces briques à la tranchée de la Vinoterie (ligne de Mulhouse) pour 3.400 mètres de longueur de caniveaux pendant l'hiver de 1856; celles que nous avons employées avaient été fabriquées pour un autre usage; elles étaient de forme parabolique avec les dimensions de la figure 92; il nous a été facile de constater qu'elles n'offraient aucun avantage réel sur les briques spéciales. La main-d'œuvre pour maçonnerie est beaucoup plus facile et plus expéditive; mais le prix de revient n'en est pas moins plus élevé. Ces briques avaient 0m,30 de longueur et coûtaient 186 fr. 90 c. le millier rendu à pied d'œuvre; le prix d'une même quantité de briques spéciales était de 39 fr. 95 c. La différence des prix était donc par mètre courant $\frac{(186 \text{ fr. } 90 \times 3)}{1000} - \frac{(39 \text{ fr. } 95 \times 12)}{1000} = 0{,}08$ c. pour la fourniture des briques seulement. La quantité de mortier qu'il faut employer n'est pas moins élevée. D'un autre côté, avec ces briques il est assez difficile, dans bien des cas, de faire suivre aux caniveaux toutes les sinuosités des bancs de suintement; mais ce qui est surtout un inconvénient sérieux, c'est que la forme arrondie facilite

Digitized by Google

l'engorgement des rigoles. Quand on se sert de briques plates, il reste toujours, vers les angles *a* et *a'* (fig. 95), des vides où l'eau peut trouver un passage non interrompu ; mais les matières filtrantes déposées dans une rigole en briques creuses y laissent moins d'interstices, et le cours irrégulier de l'eau entre les pierres ou les cailloux est moins favorable à l'expulsion des matières terreuses que les eaux entraînent avec elles.

151. *Mortier.* — La composition du mortier est la même que pour celui dont on se sert pour les maçonneries des ouvrages d'art, c'est-à-dire une partie de chaux pour deux parties de sable. La chaux doit être hydraulique et de bonne qualité ; car dans le cas où les briques viendraient à se casser ou à se disjoindre sous le poids des matières perméables ou par suite du passage des ouvriers sur la banquette AD (fig. 91), il est avantageux que la couche de mortier hydralique sur laquelle les briques sont placées soit assez résistante, assez imperméable pour suppléer au défaut des briques. Il est indispensable aussi de se servir de sable de rivière pour la fabrication du mortier hydraulique ; cependant nous avons dû employer avec la chaux de Ville-sous-la-Ferté 22 mètres cubes de sable de plaine, pour la construction de caniveaux à la tranchée de Vendeuvre pendant l'année 1856 ; au bout de quelque temps, le mortier avait acquis une dureté suffisante et même fort remarquable ; mais un fait semblable ne se présente que bien rarement et ne s'explique que par les qualités exceptionnelles de la chaux hydraulique.

Il arrive quelquefois que l'on remplace la chaux hydraulique par le ciment romain de Vassy. On ne doit faire usage du ciment que quand les eaux sont fort abon-

dantes ; dans tout autre cas, on s'exposerait à des dépenses inutiles.

152. *Matières filtrantes.* — Pour le remplissage des caniveaux, on emploie de la pierre cassée, des cailloux roulés, du gravier et même toute autre matière solide non sujette à se dissoudre dans l'eau et pouvant se réduire à des dimensions convenables.

L'emploi des cailloux est souvent préférable, parce qu'ils sont plus faciles à manier ; ils contiennent généralement moins de matières terreuses, et le prix en est ordinairement peu élevé. Les pierres cassées, quand on en fait usage, doivent être soigneusement nettoyées et passer par un anneau de $0^m,05$ à $0^m,06$ de diamètre ; elles peuvent du reste provenir des débris des carrières, et l'on s'en sert même sans trop d'inconvénients, lorsqu'elles sont gélives et de médiocre qualité, pourvu qu'elles soient suffisamment nettoyées.

Le gravier peut à la rigueur remplacer les cailloux ou la pierre cassée, quoiqu'il ait, entre autres inconvénients, celui de remplir trop complétement la rigole en briques ; mais son emploi est le plus avantageux, lorsqu'en même temps que les suintemeuts sont très-abondants, la couche aquifère est composée de sable peu résistant.

Aux tranchées de la Villeneuve et de la Vinoterie (ligne de Mulhouse), le prix élevé des pierres cassées nous a suggéré l'idée d'employer pour les travaux d'assainissement des scories provenant des forges de la Villeneuve et de Vendeuvre. Cette matière, très-poreuse et très-légère, remplit très-bien le but proposé ; quand elle a été soigneusement passée à la claie, elle donne même de meilleurs résultats que la pierre cassée.

Digitized by Google

153. *Gazon.* — Le gazon n'étant destiné qu'à soutenir provisoirement les matières perméables qui remplissent les caniveaux, et à empêcher leur mélange avec les terres du revêtement, il importe peu qu'il soit de bonne qualité. L'épaisseur du gazon varie de $0^m,05$ à $0^m,08$.

On se sert quelquefois, pour remplacer le gazon, de paille, de mousse, et même de minces plaques de glaise; mais l'usage du gazon est toujours préférable, et on ne doit avoir recours à d'autres moyens que quand le prix d'achat et celui du transport sont trop élevés. Du reste on ne trouve pas toujours de glaise ayant les qualités convenables et une quantité suffisante de mousse à proximité des chantiers. La paille est ce qu'il y a de moins avantageux pour le recouvrement des caniveaux, à moins qu'elle ne soit préparée comme il est dit au numéro 202.

154. 2° *Main-d'œuvre.* — La main-d'œuvre pour construction de caniveaux se compose de la fouille, de la maçonnerie, du remplissage de la rigole et du revêtement en gazon.

155. *Fouille.* — La fouille des caniveaux doit être faite suivant la forme de la figure 89. Les dimensions du rectangle BCDE dépendent de celles des briques dont on doit se servir; le prisme GABC sert à maintenir la rigole, et la banquette AB doit être tout juste assez large pour le passage des ouvriers; elle est ordinairement de $0^m,15$. La ligne FD est généralement verticale; cette hauteur dépend naturellement de la largeur AE, et plus particulièrement de la distance BE, la largeur AB étant toujours à peu près invariable. Cependant les matières perméables du caniveau devront recouvrir entiè-

ment les suintements ; on est obligé d'augmenter l'étendue de la ligne verticale DF, quand la hauteur du suintement est plus grande que cette ligne ; la fouille des caniveaux est alors modifiée, comme l'indique la figure 90.

Pour faire suivre aux caniveaux toutes les sinuosités des bancs de suintement, celui qui dirige les travaux d'assainissement d'une tranchée doit tracer à l'avance, sur la surface des talus, au moyen d'une bêche, mais de préférence avec une truelle, un trait assez profond et continu qui indique au terrassier les différentes hauteurs de la banquette AB (fig. 89). Ce trait, qui détermine l'arête A doit être parallèle à la limite inférieure de la couche aquifère et à une distance de $0^{m},04$ ou $0^{m},05$ au-dessous de cette limite.

Les deux briques de côté d'un caniveau se placent ordinairement avec une inclinaison de 45 degrés ; il est donc facile de calculer d'avance la largeur à donner à la rigole ; avec les briques spéciales, cette largeur est de $0^{m},20$. Quant à la hauteur BC du rectangle BCDE (fig. 89), elle est, avec ces mêmes briques, de $0^{m},13$, afin de laisser en D (fig. 91) un espace suffisant où l'on puisse appuyer solidement le premier gazon du recouvrement des caniveaux.

La figure 94 représente une section suivant AB, transversale et perpendiculaire au talus, des caniveaux auxiliaires destinés à prendre les eaux recueillies par les caniveaux ordinaires pour les amener directement dans les contre-fossés. Leur construction, comme on le voit, ne présente rien de particulièrement remarquable.

Lorsque l'on assainit un talus au moyen de briques creuses, la fouille des caniveaux ressemble à celles qui

Digitized by Google

sont préparées pour l'emploi des briques plates ; le fond de la rigole seulement doit être modifié. La ligne AB (fig. 97) est alors arrondie par une courbure semblable à celle des briques ; en donnant à la rigole une forme rectangulaire, comme dans le cas précédent, on augmenterait inutilement le cube du déblai, et l'on serait obligé d'employer une trop grande quantité de mortier. Mais alors le règlement doit être fait avec le plus grand soin, au moyen d'outils spéciaux, de manière que le maçon ne soit obligé d'enlever que la plus petite quantité possible de terres en posant les briques.

156. *Maçonnerie.* — Après avoir déposé une couche de mortier dans la rigole BCDE (fig. 89), on place les briques comme on le voit à la figure 91, en ayant soin de faire correspondre les joints des briques inclinées vers le milieu de la brique posée à plat et formant radier.

Comme il est d'une grande importance que toutes les eaux d'un suintement tombent dans la rigole, la partie supérieure de la brique qui se trouve au-dessous du suintement doit se placer, pour plus de sûreté, à $0^m,05$ environ plus bas que la couche aquifère, et de plus, elle doit être engagée dans les terres à une profondeur égale à son épaisseur. L'enlèvement du petit triangle où cette brique sera encastrée est fait à l'avance par le maçon lui-même, qui se sert à cet effet de sa truelle pour faire ce petit déblai avec tout le soin possible.

La maçonnerie avec briques creuses se fait plus rapidement qu'avec les briques plates, quand la direction des couches aquifères n'est pas trop irrégulière ; mais quand les caniveaux décrivent des courbes d'un court rayon, pour suivre toutes les sinuosités de bancs de

Digitized by Google

suintement ou quand il s'agit de les faire correspondre entre eux, on éprouve beaucoup de difficultés pour diminuer la longueur des briques ou pour les découper de manière que deux briques adjacentes se raccordent convenablement.

On obtiendrait évidemment une économie sur le mortier en se servant de briques creuses au lieu de briques plates, si les fouilles étaient très-régulièrement faites et si la largeur de la rigole n'était pas susceptible de s'augmenter du côté de la banquette par le passage des ouvriers et du côté opposé par l'action de l'eau. Quand on emploie des briques ordinaires ou des briques spéciales, on augmente ou l'on diminue avec facilité la largeur du caniveau en inclinant ou en relevant les briques de côté, mais avec les briques creuses l'excès de largeur des rigoles ne peut être rempli qu'avec du mortier, et il est souvent assez difficile de bien encastrer ces briques au-dessous du suintement quand le terrain est dégradé par suite du passage des eaux.

On commence toujours la construction des caniveaux par les points les plus élevés ; de cette manière, le maçon n'est pas incommodé par le passage de l'eau, pendant qu'en commençant dans le sens contraire, il serait obligé de maçonner sur des terres très-humides, et son mortier serait constamment trop mou, à moins que l'on ne se donne la peine de retenir et de faire évacuer les eaux qui descendent de la partie supérieure.

Le jointoiement des briques doit être achevé avec un lait de chaux hydraulique, que l'on étend dans tout l'intérieur des caniveaux, avant d'y déposer les matières filtrantes.

157. *Empierrement.*—Le remplissage des caniveaux

Digitized by Google

se fait en commençant, comme pour la maçonnerie, par les points les plus élevés, ce qui permet d'en achever la construction en moins de temps par le travail simultané des maçons et des ouvriers employés au transport des matériaux et au revêtement des caniveaux. Il faut remarquer en outre qu'en déposant les matériaux dans la rigole en briques, s'ils ne sont pas suffisamment nettoyés, les matières terreuses qu'ils contiennent tombent en poussière au fond des caniveaux. Le remplissage se faisant en descendant, ces matières terreuses sont immédiatement entraînées par les eaux et l'on peut en faciliter l'écoulement, ce qu'il serait impossible de faire si l'on déposait les matériaux en suivant une marche contraire.

Le remplissage des caniveaux ne présente pas de difficultés; il faut seulement, quand on emploie des cailloux ou de la pierre cassée, ne pas laisser tomber ces matériaux d'une trop grande hauteur, afin d'éviter que, par le choc des pierres les plus grosses, les briques soient cassées ou la rigole déformée. La seule précaution importante consiste à placer toujours au fond de la rigole et à la main les morceaux les plus volumineux; de cette manière les eaux ont un passage plus grand, plus facile, et les caniveaux sont moins assujettis aux engorgements que tendent à produire les matières terreuses que les eaux entraînent quelquefois avec elles.

La quantité de matériaux à employer dépend de la dimension des briques et de la hauteur des suintements; le point D de la ligne DC (fig. 91) est déterminé par le bord supérieur de la brique, et le point G doit toujours se trouver à environ 0m,10 au-dessus de la limite supérieure du suintement.

Le transport des matériaux se faisait autrefois à la brouette; mais on a dû renoncer à ce mode de transport, à cause de la difficulté qu'il y a d'établir des roulages sur la banquette des caniveaux sans les endommager. On s'est servi ensuite de paniers en osier portés par deux hommes; par ce moyen, la banquette des caniveaux ne subit pas de dégradations importantes et le remplissage se fait d'une manière plus convenable. Mais les paniers en osier sont promptement détériorés, et il est plus avantageux de faire les transports au moyen de bayards; avec cette espèce de civière, qui s'use relativement moins vite, les ouvriers transportent, quoique avec moins de fatigue, une plus grande quantité de matériaux.

Le transport à la hotte est certainement le plus avantageux, car les ouvriers, en s'aidant d'un bâton, montent et descendent sur le talus avec plus d'aisance, suivent, à leur choix, les directions qui leur semblent les plus faciles, et ils sont pour ainsi dire forcés d'effectuer chaque voyage aussi promptement qu'il leur est possible de le faire. Mais de simples hottes en osier ont, comme les paniers, l'inconvénient de se détériorer trop vite : ce qui a donné l'idée de les faire doubler intérieurement avec de la tôle; il est à regretter que les hottes ainsi garnies deviennent beaucoup trop lourdes, malgré le peu d'épaisseur de la feuille de tôle, car elles sont alors très-solides, font un long usage, et peuvent encore servir aux manœuvres pour le transport du mortier.

158. *Recouvrement des caniveaux.*—Quoiqu'on puisse employer au recouvrement des caniveaux des gazons de médiocre qualité, on doit, autant que possible, rechercher ceux qu'une grande quantité de racines rend moins

susceptibles de se briser à la suite des transports et des remaniements multipliés qu'on leur fait subir, et il est très-avantageux de les employer avant qu'ils soient trop desséchés. Dans ces conditions, les recouvrements sont toujours mieux faits et les frais de main-d'œuvre coûtent beaucoup moins cher. Aussi ne doit-on employer de mauvais gazons que quand, à cause des trop grandes distances de transport ou pour d'autres motifs, il est impossible de s'en procurer de bonne qualité.

Le gazon se pose à plat sur l'empierrement des caniveaux, et l'herbe en dessous; pour les consolider et en même temps pour fermer les joints, ils doivent être ensuite soigneusement battus.

Lorsque les couches imperméables sur lesquelles sont construits les caniveaux d'assainissement sont formées d'argile compacte, le recouvrement peut être fait avec de minces plaques de glaise découpées avec une pelle et appliquées immédiatement sur l'empierrement; mais il faut pour cela que la surface des talus ne soit pas trop desséchée, et de semblables recouvrements ne sont utiles qu'en hiver, à moins que le revêtement des talus ne soit terminé dans un espace de temps assez court qui ne permette pas à la sécheresse de réduire les plaques de glaise en poussière.

Il peut arriver que l'on soit obligé d'assainir un talus pendant l'hiver et que la gelée rende les deux moyens précédents impraticables; c'est dans ce cas que l'on doit avoir recours à l'emploi de la paille, que l'on place sur l'empierrement dans le sens de la largeur des caniveaux et que l'on fixe provisoirement sur les talus, au moyen d'une couche de 0,05 à 0,06 d'épaisseur faite avec des terres de nature quelconque.

Digitized by Google

159. Autant que possible, on doit établir un caniveau à chaque banc de suintement ; cependant, quand deux ou plusieurs suintements, quoique bien distincts, ne se trouvent qu'à une faible distance les uns des autres, il serait quelquefois préjudiciable à la solidité du talus de creuser une rigole au-dessous de chacun d'eux. Quand, par exemple, la distance qui sépare les suintements est inférieure à 0m,40 ou 0m,50, il est préférable, nécessaire même, au point de vue de la solidité du talus et surtout de l'économie dans la dépense, de construire un caniveau unique, en disposant la fouille et l'empierrement comme à la figure 98, en augmentant toutefois, s'il y a lieu, les dimensions des briques pour que la capacité de la rigole soit en rapport avec le volume des eaux qu'elle doit contenir.

Dans le cas d'un suintement général, l'assainissement d'un talus ne présente pas de plus grandes difficultés. Le caniveau est construit sur la couche imperméable et l'empierrement, recouvert de gazon, est prolongé jusqu'au-dessus de la limite supérieure du suintement, comme à la figure 98.

Si la couche imperméable se trouvait plus bas que le fond des contre-fossés, il suffirait alors de faire un simple empierrement à partir du radier des perrés (fig. 99), et de le maintenir, au-dessus de la banquette AB, par un revêtement en gazon. Dans ce cas, un caniveau à la partie inférieure de l'empierrement ne serait d'aucune utilité, le fossé perreyé étant bien suffisant pour faciliter l'écoulement des eaux.

159 *bis.* Il peut se présenter des circonstances telles, que la forme et les dispositions ordinaires des caniveaux d'assainissement doivent être notablement mo-

difiées. C'est ainsi que, à la tranchée de la Montagne (ligne de Mulhouse), l'empierrement a dû être soutenu par une maçonnerie avec moellons et mortier hydraulique. Le terrain de cette tranchée se décomposait avec une telle rapidité au contact de l'air et de l'eau, que les terres situées en arrière de AB (fig. 99 *bis*) ne présentaient pas la moindre solidité, et qu'elles tombaient constamment dans la fouille par lames verticales plus ou moins épaisses. On a remplacé le recouvrement en gazon par un petit massif maçonné, attendu qu'un empierrement soutenu par un simple gazonnement n'aurait pas été suffisant pour maintenir les terres désagrégées au delà de AB jusqu'à une certaine profondeur.

Un cas semblable ou analogue est assez rare, et s'il arrive que l'on soit forcé de modifier la forme des caniveaux, on doit toujours s'attacher à les construire d'après les mêmes principes que ceux qui viennent d'être décrits aux numéros précédents.

2° Revêtements.

160. Les revêtements se font en terre végétale, en gazon ou en maçonnerie. Chaque espèce de revêtement présentant des avantages particuliers, la préférence à donner à chacun d'eux dépend généralement de la nature des terres, de l'inclinaison des talus et du prix des matériaux.

161. *Revêtements en terre végétale.* — Pour des talus argileux d'une inclinaison de $1^m,25$ à $1^m,50$ de base pour 1 de hauteur, les meilleurs revêtements sont ceux

que l'on obtient par le pilonnage d'une couche de 0m,30 d'épaisseur de terres non susceptibles de devenir fluentes au contact de l'eau ; ils sont plus économiques et garantissent mieux les talus des effets de la pluie et des gelées.

Avec un pilonnage sérieux et uniforme, les revêtements en terre doivent devenir aussi imperméables que possible ; c'est pourquoi on ne peut guère se servir que de terre végétale ou de sable argileux.

On emploie généralement la terre végétale, parce qu'on la trouve presque toujours à proximité des chantiers de consolidation, et que l'on peut avantageusement s'en procurer en mettant en dépôt celle qui provient du déblai des tranchées. Les terrains de cette nature ont toutes les qualités nécessaires pour la confection de bons revêtements ; outre qu'ils sont très-favorables à la végétation, ils acquièrent, par le pilonnage, un degré suffisant d'imperméabilité, et les dégels ne produisent aucun effet nuisible sur ces terrains.

Le sable argileux donne aussi de bons résultats; si, avec cette nature de terrain, les semis ne réussissent pas tout à fait aussi bien, la main-d'œuvre est plus facile. Doués d'un degré plus élevé de cohésion, les sables argileux sont moins élastiques que la terre végétale et se pilonnent par conséquent beaucoup mieux ; en outre, et pour la même raison, ils forment une couche plus compacte, plus imperméable, et les tassements sont ensuite beaucoup plus faibles.

L'épaisseur moyenne des revêtements est de 0m,30 ; elle est uniforme pour les talus dont l'inclinaison est de 1m,50 de base pour 1 mètre de hauteur ; quand cette inclinaison s'approche de 1m,25 pour 1, il est prudent,

pour éviter les dégradations superficielles des revêtements et en même temps pour leur procurer plus de solidité, de leur donner une épaisseur plus grande à la base et moindre à la crête des talus, $0^m,35$ et $0^m,25$ par exemple, ce qui produirait encore une épaisseur moyenne de $0^m,30$.

Il est important de remarquer que les revêtements destinés à protéger les talus contre les influences atmosphériques doivent être construits dans des conditions de stabilité qui les mettent eux-mêmes à l'abri des causes d'éboulement, et, sous ce rapport, on ne saurait trop insister sur l'attention que l'on doit apporter dans le choix des terres, la bonne exécution des travaux et une disposition convenable des revêtements. Avant de commencer le pilonnage, il est nécessaire d'établir à la base du talus une espèce de banquette AD (fig. 100) qui a pour objet de s'opposer au glissement des terres du revêtement et dont l'inclinaison peut varier entre $0^m,10$ et $0^m,20$ par mètre.

Autrefois les revêtements se composaient de trois couches damées successivement et disposées comme à la figure 101; mais si l'on observe que le damage ne peut jamais comprimer les terres uniformément sur toute l'épaisseur de chaque couche, on comprend facilement qu'il devait exister suivant *ab* et CD des surfaces lisses et trop régulières qui rendaient pour ainsi dire les trois couches indépendantes les unes des autres, et que les dernières C′ et C″ ne présentaient que fort peu de solidité. Les pluies dégradaient promptement les revêtements ainsi construits; les eaux qui s'introduisaient dans les terres pilonnées circulaient de préférence suivant les surfaces *ab*, *cd*, produisaient plus facilement le

ramollissement de ces terres et amoindrissaient encore l'adhérence entre les couches du revêtement.

Les revêtements en terre pilonnée par couches de 0m,10 à 0m,15 d'épaisseur, horizontales ou plutôt inclinées légèrement dans le sens opposé à celui des talus, n'ont aucun de ces inconvénients (fig. 122 et 126) ; car alors les terres sont comprimées plus uniformément et si les couches sont d'abord distinctes les unes des autres, elles reposent solidement l'une sur l'autre et par suite du tassement, elles finissent bientôt par se confondre.

Mais quelque soin que l'on apporte dans la construction des revêtements, il n'est pourtant pas possible de les rendre complétement imperméables. Les eaux de pluies ou des dégels pénètrent jusqu'au terrain naturel, en faible quantité il est vrai, mais quelquefois assez abondamment pour produire le ramollissement des terres pilonnées à la base des talus.

Quand les revêtements sont faits avec des terres végétales ou des terres légères, il est donc prudent de construire au pied des talus à recouvrir un caniveau d'assainissement destiné à recueillir les eaux qui, après les grandes pluies ou les dégels descendent entre le terrain naturel et les terres pilonnées (fig. 103). Afin de relier autant que possible les terres pilonnées avec le terrain naturel, il est utile, avant le régalage de chaque couche, de former un redan de 0m,05 ou 0m,06 d'épaisseur seulement dans le terrain naturel (fig. 102). Nous avons cessé depuis longtemps de pratiquer dans le terrain naturel, avant de commencer les revêtements, des redans de 0m,20 de profondeur, tels qu'ils sont indiqués au mémoire de M. de Sazilly, et qui avaient aussi pour but d'augmenter la solidité des revêtements. Mais, si l'on

observe que ces redans doivent être faits sur toute la hauteur du talus à recouvrir avant de commencer le pilonnage, que, par conséquent, l'influence de la sécheresse peut durer assez longtemps pour produire des crevasses qui isolent plus ou moins complétement les prismes compris entre deux redans et terminés par la ligne qui joint les angles intérieurs *a* de chaque coupure (fig. 11 et 101), que les eaux qui pénètrent, comme nous l'avons dit précédemment, à travers les terres éboulées ne peuvent s'écouler que fort lentement, suivant la pente longitudinale des redans; on a tout lieu de craindre que l'humidité ne finisse par ramollir les terres argileuses de ces prismes isolés et quelque peu désagrégés à l'avance, et que le mouvement produit par le tassement des terres ne détermine une surface de glissement suivant la ligne *a*, *a*,.. *a* de la figure 101, ou tout au moins que le ramollissement de ces terres ne les rende incapables d'aucune résistance. Par conséquent, en taillant les talus par redans, on risque de faire des travaux nuisibles à la solidité des talus et l'on s'expose évidemment, dans tous les cas, à des dépenses inutiles.

162. *Banquettes.* — Les eaux de pluie, en descendant sur les talus d'une hauteur un peu considérable, ravineraient ces talus vers leur base et seraient la cause de dégradations plus ou moins importantes, si l'on ne prenait la précaution d'en diminuer le volume et la vitesse au moyen de banquettes étagées destinées à recevoir les eaux pluviales et les terres désagrégées qui sont entraînées par le mouvement des eaux.

La distance qu'il convient de laisser entre les banquettes est de 4 mètres environ ; le but proposé n'est pas complétement atteint avec une distance plus consi-

Digitized by Google

dérable, et des banquettes plus rapprochées nécessitent sans utilité une augmentation de déblai quelquefois considérable, comme il ressort de la comparaison des lignes ABC ... H, et AB'C'... S de la figure 104.

C'est aussi par économie de déblai que nous ne donnons jamais plus de 1 mètre de largeur aux banquettes. Cette largeur peut être réduite jusqu'à $0^m,80$, quand les talus sont peu élevés, et surtout quand la nature des terrains n'exige pas de revêtements. Mais, lorsque les talus sont recouverts de terre végétale sur $0^m,30$ d'épaisseur, et qu'ils ont une inclinaison de $1^m,50$ pour 1 de hauteur, l'épaisseur horizontale est de $0^m,55$, et la banquette n'est que de $0^m,45$ sur le terrain naturel; cette largeur n'est pas trop considérable, attendu qu'il est très-dangereux de laisser pénétrer les eaux entre le terrain naturel et les terres rapportées : ce qui pourrait arriver, si l'on donnait aux banquettes moins de 1 mètre de largeur.

Les banquettes sont horizontales ou inclinées dans le sens de leur largeur. Dans le premier cas, elles ne sont destinées qu'à amoindrir la vitesse des eaux sans en diminuer le volume. Elles ne conviennent pas aux talus avec revêtement; dans ce cas, on donne aux banquettes une pente transversale de $0^m,15$ opposée à celle des talus (fig. 105), et, pour que les eaux concentrées dans l'angle inférieur *a* s'écoulent assez promptement, une pente longitudinale de $0^m,02$ à $0^m,03$ par mètre (fig. 114). Cette autre pente est calculée de manière que les eaux séjournent le moins de temps possible sur les banquettes, et qu'elles ne puissent y causer de dégradations, en raison de leur volume et de leur vitesse, en s'écoulant vers les points bas donnés par les pentes longitudinales.

9.

Malgré ces précautions et quoiqu'elles soient entretenues avec soin, on ne peut empêcher que les banquettes se détériorent promptement à l'époque des grandes pluies. De là, la nécessité de les revêtir avec des gazons posés à plat sur tout ou partie de leur largeur (fig. 105 et 106). Ce revêtement se fait quelquefois en maçonnerie, mais l'emploi du gazon est toujours préférable. Tout en nécessitant une dépense plus grande, un pavage en moellons et même un dallage ne sont bons qu'autant qu'ils sont maçonnés avec mortier hydraulique ; en remplissant les joints avec de la terre seulement, on s'expose à faciliter le passage des eaux sur la glaise, ce qu'on doit éviter autant que possible. Cet inconvénient ne se présente pas avec un gazonnement bien fait et bien entretenu.

162 *bis*. On dispose aussi quelquefois les banquettes avec une pente transversale de $0^m,12$ à $0^m,15$ vers les tranchées. Une semblable disposition doit être adoptée toutes les fois qu'il y a lieu de craindre que les eaux ne séjournent trop longtemps sur les banquettes, comme dans le cas de la figure 127, représentant le profil d'un talus consolidé à la tranchée de Grattery (près de Ronchamp, ligne de Mulhouse). Afin d'éviter un surcroît de déblai considérable pour donner une largeur suffisante aux banquettes de cette tranchée, de manière que les eaux pluviales puissent s'écouler vers des cuvettes en maçonnerie en passant sur le terrain naturel, on s'est contenté d'établir sur le terrain rapporté des banquettes gazonnées et inclinées vers la tranchée, de sorte que les eaux pluviales, en s'écoulant rapidement au pied des talus, ne peuvent pas ramollir les terres pilonnées d'une manière nuisible à la solidité des revêtements. Le talus infé-

Digitized by Google

rieur, après les fortes pluies, est quelque peu raviné ; mais cet inconvénient disparaîtra tout à fait, quand les semis auront produit une végétation assez abondante.

163. *Cuvettes.* — A la rencontre inférieure de deux pentes opposées, les eaux sont reçues dans des cuvettes en maçonnerie qui les amènent directement dans les contre-fossés du chemin de fer ; il est inutile de faire remarquer que, quand il y a plusieurs banquettes étagées, il est nécessaire de faire correspondre, sur une même ligne perpendiculaire à l'axe, la jonction inférieure des pentes opposées (fig. 114).

Il est indispensable d'employer, pour la construction des cuvettes, de la pierre de bonne qualité, non susceptible de se déliter par l'action de l'eau et particulièrement des gelées. On se sert habituellement de moellons smillés ; avec ces moellons, dont la pose est très-facile, le mouvement des eaux s'opère avec une suffisante régularité. En se servant de moellons ordinaires ou mal smillés, les cuvettes auraient l'inconvénient de faire rejaillir les eaux sur les talus, et le mouvement irrégulier de ce liquide produirait constamment la dégradation du mortier des joints. Au point de vue de la solidité, les moellons piqués sont, sans aucun doute, préférables aux précédents pour la construction des cuvettes ; mais le prix élevé de la main-d'œuvre justifie la préférence que l'on donne ordinairement à la maçonnerie de moellons smillés.

On emploie, pour la maçonnerie des cuvettes, du mortier composé de chaux hydraulique et de sable de rivière. Les rejointoyements sont faits avec du mortier de ciment, à moins que l'on n'ait à sa disposition de très-bonne chaux hydraulique. Quand la chaux n'est que de

médiocre qualité, elle doit encore être remplacée par le ciment pour la maçonnerie proprement dite, lorsque l'on est obligé de construire des cuvettes pendant la mauvaise saison, surtout si ces cuvettes doivent donner passage à un volume d'eau considérable.

La forme ordinaire des cuvettes est celle des figures 107, 108 et 109; quelquefois on préfère une forme arrondie (fig. 110), parce que le mouvement des eaux est plus régulier et que les cuvettes se dégradent moins facilement; mais la main-d'œuvre pour la taille du parement circulaire et pour la pose des moellons coûte alors beaucoup trop cher. Les cuvettes ordinaires n'exigent, en général, que peu d'entretien, si l'on a soin d'appareiller les moellons, comme aux figures 107, 108 et 109, c'est-à-dire de manière qu'il ne se trouve pas de joints suivant la ligne CD (fig. 107), qui est le lieu de tous les points *a* au sommet de l'angle *bac* (fig. 109).

On donne habituellement 1 mètre de largeur aux cuvettes sur 0^{m},30 d'épaisseur. La largeur peut être réduite jusqu'à 0^{m},80, quand les cuvettes ne doivent servir qu'à l'écoulement des eaux pluviales qui tombent sur les talus seulement; mais, lorsqu'elles doivent recevoir en même temps les eaux de pluie qui descendent de la surface du sol, il ne serait pas prudent de leur donner moins de 1 mètre de largeur, avec un évidement de 0^{m},15 de profondeur : ce qui donne une section de 0^{m3},075. Une largeur de 1 mètre est généralement suffisante.

Quant à l'épaisseur, comme elle n'est réellement que de 0^{m},15 au milieu (fig. 109), elle ne peut guère être diminuée; mais les arêtes *b* et *c* (fig. 109) devant se trouver sur le même plan que la surface du revêtement, et comme il est de toute nécessité que la maçonnerie

repose sur le terrain naturel, l'épaisseur des cuvettes augmente naturellement comme celle du revêtement, lorsqu'il arrive que le terrain à recouvrir est devenu irrégulier, à la suite d'éboulements superficiels.

164. Lorsque les talus ont peu de hauteur et que par conséquent la quantité d'eau qui doit passer dans une cuvette est peu considérable, il y a économie à remplacer la maçonnerie par du gazon. Les cuvettes en gazon sont construites suivant la même forme que les cuvettes en maçonnerie ; leur épaisseur ne peut être moindre que $0^m,25$, et leur largeur moyenne est généralement de $0^m,40$.

Les mottes de gazon, bien taillées au lieu d'extraction, sont ensuite posées par assises, l'herbe en dessous et normalement à la pente des talus (fig. 111) ; elles sont placées avec beaucoup de soin et fortement comprimées, de manière que les joints ne puissent se rouvrir par l'effet de la sécheresse.

Les cuvettes en gazon se détériorent facilement par le passage de l'eau ; elles ne donnent de bons résultats que lorsqu'elles sont bien entretenues pendant un an ou deux ; mais elles coûtent moins que les cuvettes en moellons, et remplacent suffisamment bien celles-ci, quand la saison ne permet pas de faire des maçonneries.

Nous avons aussi, dans de semblables circonstances, remplacé les cuvettes en maçonnerie par des rigoles en bois goudronnées intérieurement, et semblables à celles que nous employons ordinairement pour l'assainissement des remblais (voir fig. 190, 191, 192). Les essais ont parfaitement réussi. Ces rigoles présentent l'avantage de coûter relativement fort peu, et peuvent durer au moins une dizaine d'années, avec une dépense d'entre-

tien nulle ou insignifiante ; de plus, on peut les poser presque en toute saison.

165. Les banquettes et les cuvettes sont non-seulement destinées à préserver les tranchées des eaux pluviales qui tombent sur la surface des talus, mais elles servent encore à préserver les terres des dégradations résultant du passage des eaux qui coulent à la surface du sol à la suite des pluies, et qui descendent dans les tranchées en passant sur les talus.

Quand la pente du terrain favorise l'écoulement des eaux pluviales vers les tranchées, on établit, au-dessus du talus le plus élevé, une banquette gazonnée (fig. 112), à peu près semblable à celles dont il a été question précédemment ; seulement, la largeur , qui ne peut guère être moindre que 1 mètre, doit être augmentée en raison de l'abondance des eaux, que l'on évalue d'après la nature du sol et l'étendue des terrains, dont la plus grande pente est dirigée vers les tranchées.

La pente longitudinale de ces banquettes, que l'on désigne généralement sous le nom de *revers d'eau*, est la même que celle du terrain, quand l'inclinaison du sol est égale ou supérieure à $0^{m},015$ par mètre, en suivant le bord des talus ; mais, quand le terrain est moins incliné, on doit donner aux revers d'eau des pentes opposées semblables à celles des banquettes ordinaires, et établir, aux jonctions inférieures des pentes opposées, des cuvettes en maçonnerie ou en gazon, construites exactement comme nous venons de le dire (fig. 114).

Lorsque les eaux pluviales arrivent au bord des tranchées en suivant des sillons profonds, on fait bien alors de construire tout simplement une cuvette en gazon au droit de chaque rigole des champs (fig. 113), et, dans

le cas où ces cuvettes seraient trop rapprochées, on supprime une grande partie de leur largeur par l'établissement d'une banquette ABC (fig. 114). L'on ne doit, bien entendu, réduire ainsi la longueur des cuvettes que quand il y a économie à le faire.

166. Les banquettes revers d'eau sont préférables en tous points aux fossés de ceinture. Leur établissement coûte peu et l'entretien en est extrêmement facile; elles favorisent parfaitement bien un écoulement prompt, facile et nullement dangereux des eaux pluviales. Les fossés de ceinture, au contraire, coûtent plus pour déblai, règlement et entretien; le passage d'une certaine quantité d'eau donne lieu à des réparations difficiles et rarement complètes, et pour obtenir une pente convenable, on est souvent obligé, soit de faire des emprises de terrains supplémentaires, soit de creuser les fossés jusqu'à la profondeur de la première couche imperméable; ils présentent généralement, et dans ce dernier cas surtout, tous les inconvénients des eaux stagnantes près du bord des tranchées.

Les fossés de ceinture maçonnés avec mortier hydraulique n'ont pas les mêmes inconvénients que les fossés avec plate-forme et talus simplement réglés ou même gazonnés; mais, dans ce cas, la maçonnerie, pour être suffisamment bien faite, coûte fort cher, et le nettoyage des fossés nécessite toujours une dépense plus considérable que l'entretien des revers d'eau.

On pourrait nous faire observer que les fossés de ceinture sont d'une bien grande utilité pendant l'ouverture des tranchées, et qu'en s'opposant avant toute chose à ce que les eaux pluviales descendent sur les talus et sur la plate-forme, les travaux de déblai sont plus faciles

et s'exécutent plus rapidement. Sous ce rapport, les fossés de ceinture sont utiles en effet, on ne peut le nier, et d'ailleurs, ils ne deviennent ordinairement une cause d'éboulement que quand le déblai des tranchées est terminé; mais, puisque les banquettes gazonnées sont préférables, pourquoi ne pas les substituer aux fossés, même avant l'ouverture des tranchées, comme à la figure 115 par exemple, ou, si l'on tient à creuser des rigoles provisoires, pourquoi ne pourrait-on pas, à la rigueur, les établir près de la crête des talus, mais en dedans du profil adopté, c'est-à-dire dans la partie de la tranchée qui n'est généralement déblayée qu'en dernier lieu, lorsque l'on doit commencer le règlement des talus, et par conséquent lorsqu'elles peuvent être remplacées immédiatement par les banquettes gazonnées (fig. 116)?

167. *Perrés.*—Les contre-fossés des tranchées argileuses servent à l'écoulement des eaux de pluie et de celles qui proviennent des caniveaux d'assainissement; ils doivent être protégés par un revêtement en pierre sèche qui rend le nettoyage facile et au moyen duquel les fossés conservent toujours la pente régulière qu'il convient de leur donner.

Il est quelquefois bon de perreyer tout le développement des contre-fossés, mais en général on se contente de revêtir le fond du fossé et le talus opposé à la voie; dans les terrains de mauvaise nature, on peut tout simplement maintenir l'autre talus avec un gazonnement à plat (fig. 118).

La forme des perrés est assez variable; on leur donne communément celles que représentent les figures 117, 118, 119, 120, 121 et 122.

Digitized by Google

Les perrés avec murette verticale du côté de la voie sont souvent préférés, parce qu'ils permettent de diminuer la largeur du profil des tranchées.

A moins que l'on ne puisse faire autrement, il est bon de réserver au-dessus des perrés une banquette de 0m,30 à 0m,50 de largeur, qui sert à retenir les terres désagrégées de la surface des talus, sur laquelle on peut déposer les boues qui proviennent du nettoyage des fossés et où les gardes-ligne peuvent se tenir en sûreté au passage des trains, quand le ballast est soutenu par des murettes.

Les talus des contre-fossés reçoivent généralement une inclinaison de 45 degrés, de sorte que les dimensions des perrés dépendent de leur profondeur. Cette profondeur est ordinairement de 0m,50 à partir de la plate-forme des chemins de fer; mais nous pensons que cette dimension est plus que suffisante; nous l'avons réduite sans inconvénient à 0m,35 dans toutes les tranchées que nous avons consolidées dans le troisième arrondissement (Belfort) de la quatrième division. Une profondeur plus grande que celle de 0m,50 entraîne dans tous les cas un surcroît de dépenses que rien ne justifie.

L'épaisseur moyenne de la maçonnerie pour perrés est de 0m,25; elle ne peut être moindre que 0m,20, mais la plus convenable est de 0m,30.

168. *Semis et plantations.* — Les semis offrent de grandes ressources contre les dégradations superficielles; les plantes, en effet, protégent efficacement les talus par les feuilles et les racines. Au moyen de la tige et des feuilles, l'écoulement des eaux pluviales est moins rapide et ne s'opère qu'en partie à la surface même des

Digitized by Google

terres; et ce qui est surtout important, les effets de la gelée ne se font sentir qu'à une moindre profondeur. Les racines, quand elles sont suffisamment longues et ramifiées, suffisent parfois à retenir des masses assez volumineuses de terres désagrégées et ramollies par les pluies, la fonte des neiges ou les dégels.

Le choix des plantes destinées à protéger les talus dépend naturellement de la nature des terres, mais aussi quelquefois du climat et de l'orientation des talus. On doit en général donner la préférence à celles dont les racines sont longues et s'enfoncent profondément dans les terres; de ce nombre sont la luzerne et le chiendent. La luzerne réussit bien dans les terres légèrement argileuses, surtout à la surface des talus, pourvu qu'on la sème sur un terrain convenablement ameubli; dans ces conditions favorables, elle donne en outre un rendement en fourrage d'une valeur égale à celle que l'on obtient pour une même surface de terrain cultivé.

Le chiendent donnerait aussi d'excellents résultats, si l'on pouvait l'obtenir dans les mêmes conditions que dans les terrains où il croît spontanément. Mais, pour qu'il réussisse bien et en temps convenable sur les talus, il faut qu'il soit planté dans des terres meubles, comme ne peuvent l'être ni les terres pilonnées ni le terrain naturel, et de plus, on ne peut avantageusement l'employer que quand il n'est pas trop desséché. Seulement, il est bon de remarquer qu'il croît dans toutes espèces de terrains, et c'est la plante qui remplace le mieux la luzerne dans les conditions où cette plante ne peut réussir.

Lorsque la saison ne permet pas d'espérer que la luzerne ou le chiendent acquièrent assez de développe-

ment pour protéger suffisamment les talus pendant l'hiver, on a fréquemment recours aux plantes de la famille des graminées. Alors les semences que l'on désigne ordinairement sous le nom de graines de foin doivent se composer de graines d'espèces variées et sont répandues en grande quantité sur les talus; de cette manière, on est à peu près certain d'obtenir assez de végétation en fort peu de temps. Mais les plantes de cette famille, à l'exception du chiendent, ne donnent en général que des racines fort courtes et ne protégent les talus que par leurs tiges et leurs feuilles. Nous avons employé, pour l'ensemencement d'un talus de déblai, des graines de bonne qualité de l'agrostis stolonifère, et nous avons dû reconnaître qu'elles ne donnent guère de meilleurs résultats que la graine de foin ordinaire convenablement épurée.

Le trèfle forme quelquefois un bon gazonnement, il réussit moins difficilement que la luzerne ; mais il a les inconvénients des plantes à racines courtes. On le sème quelquefois avec de la graine de seigle ou de trèfle afin de le soustraire à l'action du soleil ou des pluies; le seigle et l'avoine tiennent en effet d'abord cette plante à l'abri de la sécheresse et d'une trop grande humidité, mais en même temps ils la privent de la quantité d'air et de lumière qui sont nécessaires à son développement. Les agriculteurs ont raison d'agir ainsi quand ils cultivent la luzerne et le trèfle ; mais on doit observer que le seigle ou l'avoine leur fournissent dans l'année une récolte ordinaire et qu'ils ne comptent sur le produit des plantes fourragères que pour les années suivantes, tandis que les semis sur les talus ont pour principal but la protection prompte et efficace des terres contre les in-

fluences de la sécheresse et de l'humidité, causes principales des dégradations superficielles.

La traînasse, plante de la famille des renouées, forme en peu de temps un gazon épais et serré; elle protége bien les talus contre les pluies ou les gelées; mais ses racines, quoique fort longues, ne sont pas assez nombreuses et ne s'étendent que sous une faible partie de la surface recouverte par les feuilles; du reste, elle ne produit de bons effets que lorsqu'elle croît spontanément sur les talus.

169. Les plantations d'arbustes, tels que l'acacia, le saule, l'osier, etc., ne peuvent servir à la consolidation des talus qu'au bout de quelques années. On doit choisir de préférence les espèces qui donnent en peu de temps des racines nombreuses qui s'étendent profondément et en tous sens. Le choix des essences les plus convenables dépend aussi de la nature des terrains et ne peut être déterminé que par les hommes spéciaux qui en sont ordinairement chargés.

170. *Main-d'œuvre.* — Les travaux à effectuer pour le revêtement des talus argileux sont évidemment moins difficiles et moins compliqués que les travaux d'assainissement; ils n'en méritent pourtant pas moins de fixer l'attention, à cause de leur utilité et surtout des économies qu'une bonne direction permet de réaliser.

171. *Revêtement.* — Nous avons parlé déjà du choix des terres propres aux pilonnages et nous savons que celles qui ont les qualités nécessaires pour faire de bons revêtements se prennent en général dans les couches supérieures des tranchées. Il est donc avantageux, pendant qu'on effectue les déblais, de faire mettre en dépôt de chaque côté des tranchées une quantité suffisante de

bonnes terres pour le revêtement des talus argileux. Mais, quand les terrains de la première couche perméable sont propres au pilonnage et qu'il existe une proportion convenable entre son épaisseur et la hauteur du talus à recouvrir, il est plus simple et plus économique de réserver à la partie supérieure des talus (fig. 124) les terres nécessaires aux revêtements, en donnant au profil du prisme ABCD une surface suffisante pour que les terres réservées forment, autant que possible, un cube égal à celui du volume correspondant du pilonnage.

Lorsque l'on doit consolider un talus argileux après l'achèvement des travaux de déblai et que l'on n'a pas mis en dépôt ou que l'on n'a pas réservé, comme nous venons de le dire, de bonnes terres pour les revêtements, on doit alors avoir recours à des emprunts; mais si la distance de transport est trop considérable, on remplace le terrain végétal ou le sable argileux par un mélange convenable d'argile et de terres perméables.

Les différents travaux dont l'ensemble est désigné sous le nom général de pilonnage, qui en indique le résultat définitif, se composent : de la fouille ou de la reprise des terres, du transport, du régalage, du pilonnage proprement dit et du règlement des talus.

172. Il y aurait trop peu de chose à dire de la fouille ou de la reprise et du transport des terres ; quant au régalage, au pilonnage et au règlement des talus, quelques mots suffiront pour indiquer de quelle manière ces travaux doivent être conduits, quand il s'agit spécialement des revêtements de talus.

173. *Régalage.* — Afin que chacune des couches pi-

lonnées d'un revêtement ait une inclinaison opposée à celle du talus (fig. 126), on doit régaler les terres comme l'indique la même figure, c'est-à-dire en donnant à la couche *a* une épaisseur beaucoup plus forte vers la surface BC du talus définitif. Il est inutile de rappeler que les redans destinés à relier le terrain naturel avec les terres du revêtement doivent être faits avant le régalage de chaque couche. Le déblai de ces redans n'exige pas du reste de grandes précautions ; il est fait rapidement à la pioche, et les coupures ne doivent pas avoir plus de $0^m,06$ à $0^m,08$ de profondeur.

Pendant les grandes sécheresses et lorsqu'on emploie des terres trop légères pour les revêtements, le régalage est quelquefois difficile, parce qu'alors les terres réduites en poussière tendent à prendre une inclinaison beaucoup plus faible que *bc* (fig. 126), et quelquefois même inférieure à celle du talus définitif. Dans ce cas, il est nécessaire d'augmenter la cohésion des terres par un arrosage assez abondant qui facilite en outre le pilonnage et le règlement des talus.

174. *Pilonnage.* — Pour pilonner les terres, on se sert assez fréquemment de pilons en bois (fig. 128) dont le poids dépend de la force des ouvriers. Avec un pareil outil, il serait possible à de bons terrassiers de comprimer très-fortement les terres ; mais on a généralement le tort de n'employer pour le pilonnage que des ouvriers médiocres ; de plus, l'emploi du pilon est très-fatigant ; les ouvriers faibles ou peu consciencieux se contentent de le soulever à peu de hauteur et de le laisser retomber librement, de sorte que son action faible et répétée ne produit presque autre chose que le lissage de la surface de chaque couche, et par cela même, il est

fort difficile de reconnaître si les terres sont ou ne sont pas sérieusement pilonnées.

Pour le pilonnage des revêtements de talus argileux, on se sert depuis longtemps déjà de dames plates (fig. 129 et 130) en bois de chêne ou de charme, et dont le poids ordinaire est de 3 kilogrammes. L'inspection des figures 129 et 130 nous dispense de toute autre description; nous ferons seulement remarquer que les pilonneurs doivent lever cet outil au-dessus de leur tête, c'est-à-dire à une hauteur qu'il est facile d'apprécier. Les ouvriers trouvent plus facile et moins fatigant de frapper tous en même temps ; ils suivent le mouvement qui leur est prescrit, et, si on le veut bien, ils sont obligés, en accélérant la vitesse qu'ils impriment à la batte, d'agir avec plus d'énergie et de comprimer plus fortement la masse de terres dont il faut rendre le tassement ultérieur aussi faible que possible.

175. *Règlement.* — Comme il importe que les terres d'un revêtement soient fortement comprimées, le règlement se fait en pilonnant chaque couche dans le sens du talus avec une dame plate dont la forme est modifiée suivant les figures 131 et 132. Il est facile de comprendre qu'en agissant ainsi les terres comprimées dans deux sens différents (fig. 126) ne doivent plus subir qu'un tassement peu sensible après le pilonnage. Quelquefois cependant, les revêtements en terre pilonnée doivent d'abord être dégrossis à la pioche, avant d'être réglés définitivement à la dame plate. C'est quand on est obligé de se servir de terres trop légères et trop sèches, et que l'on n'a pas à proximité une quantité d'eau suffisante pour l'arrosage; alors on augmente provisoirement l'épaisseur du revêtement sur toute la

hauteur d'un talus, et le règlement se fait ensuite à la pioche comme pour un talus ordinaire ; de cette manière, après avoir enlevé le surcroît d'épaisseur du revêtement, il ne reste plus que des terres suffisamment pilonnées.

176. *Banquettes.* — Les banquettes doivent être réglées avec soin, à la batte sur les terres pilonnées, à la pioche sur le terrain naturel. A ce propos, nous croyons utile de faire remarquer qu'avant de commencer les revêtements, il est nécessaire que les banquettes soient déjà réglées suivant la forme que l'on veut leur donner sur les talus définitifs. La surface extérieure des revêtements étant parallèle à celle du terrain naturel, les banquettes conserveront, après le pilonnage, la largeur qu'on leur aura donnée primitivement, et l'on sait qu'elles seront formées en partie sur le terrain naturel et en partie sur le revêtement. Or, il est de toute nécessité qu'en coulant sur les banquettes, les eaux passent le moins possible sur les terres pilonnées ; car elles pénétreraient alors trop facilement entre les terres rapportées et le terrain naturel, et pourraient compromettre la solidité des revêtements. Aussi, ne devrait-on jamais négliger de disposer les banquettes de telle sorte que les eaux s'écoulent sur un gazonnement fait sur le terrain naturel, comme aux figures 105 et 106.

Quelques tranchées de la quatrième division de la ligne de Mulhouse (de Troyes à Chaumont), pour lesquelles des travaux de consolidation n'étaient pas prévus, avaient été réglées avec banquettes horizontales. Quand, plus tard, on eut reconnu la nécessité d'en consolider les talus suivant notre système, nous avons cru suffisant de donner une pente convenable aux ban-

quettes au moyen de terres de bonne qualité rapportées et sérieusement pilonnées (fig. 125). Mais de cette manière, il n'était pas possible d'établir un caniveau à la base de chaque portion de revêtement, et les eaux pluviales, qui s'introduisaient jusque sur le terrain naturel en filtrant à travers le pilonnage et en pénétrant dans les crevasses produites sur les banquettes par l'effet du tassement, entretenaient une humidité parfois assez abondante à la suite des dégels ou des grandes pluies pour produire des tassements considérables, qui avaient toujours lieu au droit de chaque sommet de banquette. Il ne s'ensuivait pas, il est vrai, la destruction des revêtements; mais l'augmentation des dépenses pour frais d'entretien a prouvé qu'il eût été préférable d'établir les banquettes sur le terrain naturel, malgré les dépenses que les déblais supplémentaires eussent entraînées, et malgré les inconvénients qu'eût présentés le transport des terres sur un chemin de fer déjà exploité.

La pente longitudinale des banquettes est, comme on l'a déjà dit, de $0^m,02$ à $0^m,03$ par mètre. Quant à la distance entre les cuvettes, elle est naturellement assez variable; mais il faut qu'elle soit déterminée avant de commencer le règlement des banquettes; elle est ordinairement de 50 mètres en moyenne.

177. *Gazonnement des banquettes.* — Le gazonnement des banquettes doit être fait avec un soin tout particulier, et former en quelque sorte un revêtement imperméable. On arrive à ce résultat en employant des gazons de bonne qualité, découpés régulièrement et transportés avec soin. Quand les gazons sont mis en place sur toute la longueur d'une banquette, on introduit avec force dans les joints de la terre végétale bien divisée,

et l'on dame ensuite toute la surface gazonnée, jusqu'à ce qu'elle devienne bien unie et bien régulière. On peut encore augmenter la liaison des gazons, pendant l'été surtout, en arrosant les banquettes avant de les damer.

C'est au printemps et en automne que les gazonnements se font le mieux ; les terrains étant alors suffisamment humides, les gazons se découpent plus facilement et plus régulièrement ; ils sont plus compressibles, ce qui permet de mieux fermer les joints en les étendant sans les briser par le damage sur les banquettes ; de plus, la végétation est assez active pendant ces deux saisons pour que les gazons se trouvent reliés au bout de peu de temps par les racines des plantes. Il n'en est pas toujours de même en été ; car, malgré de fréquents arrosages, les gazons nouvellement placés se dessèchent quelquefois promptement, et les plantes ne tardent pas à périr.

178. *Cuvettes en maçonnerie.* — Il n'y a rien de particulier à dire de la main-d'œuvre pour l'établissement des cuvettes en moellons ; elle est la même que pour la maçonnerie ordinaire.

179. *Cuvettes en gazon.* — En construisant les cuvettes en gazon, on doit chercher à amoindrir autant qu'on le peut les défauts que nous avons déjà signalés ; ainsi, on les rendra plus solides, plus imperméables, et on évitera l'ouverture des joints en plaçant les gazons par assises, en ayant soin de toujours couper les joints et d'appuyer fortement chaque rangée de gazon sur l'assise inférieure. De plus, les gazons sont d'abord placés sur toute la hauteur de la cuvette, suivant la forme rectangulaire (fig. 133), et l'on creuse ensuite la rigole triangulaire ABC en refoulant énergiquement le gazon suivant cette forme ; les deux plans *ab*, *bc* sont enfin

Digitized by Google

réglés définitivement avec une bêche bien aiguisée.

180. *Perrés.* — Pour la construction des perrés, il nous suffira de dire que, pour les murettes inclinées qui forment le revêtement de la base des talus, on doit veiller à ce que les joints et les vides produisent le plus petit espace possible ; on peut employer, à cet effet, du gravier ou des pierrailles provenant du smillage. La murette qui soutient le ballast doit être construite assez solidement pour éviter des frais d'entretien. Toute autre observation nous semblerait tout au moins inutile.

181. *Semis.* — On sait que la végétation concourt puissamment à la consolidation des talus ; il est donc important de n'employer que les espèces de graines qui conviennent le mieux à la nature et à l'état des terrains à ensemencer.

On a généralement le tort, dans la construction des chemins de fer, de négliger les différents moyens qui sont d'une grande ressource en agriculture, tels que les amendements et les engrais, par exemple. Les semis ou plantations, comme on les fait habituellement, n'en sont pas plus simples et ne réussissent pas mieux.

Pour que la végétation se développe rapidement, on ferait souvent bien d'attendre que les influences atmosphériques aient produit l'ameublissement des terrains naturels ou des terres pilonnées. Mais on est quelquefois obligé de commencer les semis aussitôt après le règlement des talus, afin que, sans perdre de temps, les graines soient soumises à toutes les influences favorables au développement des plantes.

La manière de faire les semis dépend ordinairement de l'état des terres à la surface des talus ; si elles sont suffisamment désagrégées, il suffit de répandre réguliè-

rement les graines et de les recouvrir au moyen d'un simple ratissage ou mieux avec une légère couche de terre végétale. Quand il s'agit de semer des talus sur le terrain naturel ou sur des revêtements nouvellement réglés, on emploie avec avantage la méthode suivante : Après avoir pratiqué sur les talus des coupures verticales droites (fig. 134 et 135) au moyen d'une bêche ou d'une pioche à panne large et bien aiguisée, on répand les graines à la volée, comme on sème un champ cultivé ; ces graines restent à l'endroit où elles tombent, ou bien elles sont retenues dans les coupures nombreuses et faites régulièrement sur les talus ; elles sont ensuite recouvertes d'une épaisseur de $0^m,03$ de terre végétale, et le travail s'achève en damant légèrement sur les talus, afin de fermer les coupures verticales et de faire adhérer la terre végétale sur les surfaces ensemencées.

182. *Chiendent*. — On peut planter le chiendent en prenant des dispositions analogues ; mais on réussit peut-être aussi bien en introduisant les racines dans des trous pratiqués normalement à la surface des talus. Nous avons essayé, à la tranchée de Sourbourg (ligne de Wissembourg), de planter le chiendent en interposant un lit de racines entre chaque couche du pilonnage ; ce mode de plantation n'a pas bien réussi : les racines, trop fortement serrées dans les terres, pourrissaient très-promptement.

183. *Revêtements en gazon*. — Les gazonnements pour revêtements de talus se font à plat ou par assises. En général, on n'emploie le gazon au lieu de terres pilonnées que dans des circonstances tout à fait exceptionnelles, lorsqu'il s'agit de la consolidation des talus de déblai. Un gazonnement à plat coûte un peu moins

cher qu'un revêtement en terres pilonnées, mais il ne préserve pas aussi bien les talus contre les effets des pluies et des gelées. Les revêtements en gazon par assises, faits avec beaucoup de soin, sont, à la vérité, plus solides que le pilonnage; mais le prix de revient pour 1 mètre carré de revêtement en gazon par assises est beaucoup plus élevé que celui d'un mètre carré de revêtement en terres pilonnées.

La préférence à donner aux pilonnages sur les gazonnements par assises ne tient donc qu'à une différence de prix; mais cette différence est tellement considérable, qu'elle ne peut être compensée par la solidité plus grande des revêtements en gazon.

La moyenne des prix de revient des revêtements en terres pilonnées est de 1 fr. 16 c. pour 175,883 mètres carrés de talus, comme on le verra plus loin, dans le chapitre relatif à l'évaluation des dépenses pour travaux de consolidation. Le prix de main-d'œuvre d'un mètre carré de revêtenent en gazon par assises, augmenté de l'indemnité du terrain dégazonné, ne s'élève pas à moins de 1 fr. 29 c. en employant de bons ouvriers, payés à raison de 3 francs par jour, et en prenant pour base les évaluations qui suivent :

Indemnité pour 1 are de terrain dégazonné, 15 francs.

En supposant le gazon de 0m,20 de longueur, 0m,25 de queue et 0m,10 d'épaisseur, on doit lever dans 1 are 1,800 gazons, déchet compris; il faut trois hommes pour lever le gazon, deux hommes pour chargement et déchargement, trois rouleurs pour transport à trois relais, faisant 450 voyages par jour, en comptant 10 gazons par charge de brouette; il faut 50 gazons pour 1 mètre carré de talus, et trois hommes employés à la reprise

et à la pose du gazon font 25 mètres carrés de revêtement par jour. Ainsi, d'après les évaluations les plus modérées, le prix de main-d'œuvre et d'achat s'élèverait à 1 fr. 29 c., et en ajoutant pour faux frais la construction de banquettes, de cuvettes, etc., la même dépense que pour les revêtements en terres pilonnées, soit 28 centimes. Le prix définitif serait d'au moins 1 fr. 57 c., ce qui donne une différence en plus de 41 centimes sur le prix des revêtements en terres pilonnées.

Ces éléments de prix sont modifiés ainsi pour le gazonnement à plat :

20 gazons par mètre carré de talus.

Une cheville de $0^m,30$ à $0^m,40$ de longueur par gazon. — Les chevilles coûtent 20 francs le millier.

Quatre hommes employés à la reprise et au deuxième transport du gazon au lieu d'emploi, à la pose et au chevillage, peuvent faire 60 mètres carrés de revêtement par jour.

D'après ces indications, la dépense pour 1 mètre carré de gazonnement à plat sur les talus de déblais reviendrait donc à 57 centimes, mais sans tenir compte, comme pour le prix ci-dessus, du gazonnement par assises, des dépenses pour règlement et gazonnement de banquettes, construction de cuvettes, etc., car le prix moyen du mètre carré de pilonnage seulement ne s'élève qu'à 88 centimes pour 175,883 mètres carrés de talus, et quand les tranchées sont un peu profondes, les dispositions générales des talus recouverts en gazon sont les mêmes que quand il s'agit de revêtement en terres pilonnées.

Ces observations ont pour but d'établir que, dans les circonstances ordinaires, on ne doit recourir à l'emploi

du gazon par assises que dans les cas où les revêtements en terres pilonnées seraient insuffisants : un gazonnement par assises, en effet, peut servir sans inconvénient au revêtement d'un talus de 45 degrés. Avec une inclinaison aussi forte, les revêtements en terres pilonnées ne présentent pas toujours une solidité suffisante, et les frais d'entretien sont quelquefois fort coûteux pendant un ou deux hivers.

La main-d'œuvre pour les gazonnements par assises ne présente pas de sérieuses difficultés ; il suffit de disposer les gazons par assises horizontales et à joints recouverts. On place les gazons, l'herbe en dessous, suivant une pente opposée à celle du talus (fig. 136). La direction de cette pente est à peu près déterminée par la bissectrice de l'angle que forme la ligne *ab* perpendiculaire au talus AB, avec l'horizontale *ac ;* de cette manière, l'épaisseur normale du revêtement est de $0^{m},20$ environ, en employant des gazons de $0^{m},25$ de queue : cette épaisseur est généralement suffisante.

Les gazons sont posés l'herbe en dessous, afin qu'il soit plus facile de mieux régler les assises ; en les plaçant dans un sens opposé, on faciliterait peut-être davantage l'introduction des eaux pluviales à travers les revêtements, à moins qu'on ne donne au gazon une direction horizontale ou légèrement inclinée vers la tranchée (fig. 137) ; mais la première méthode nous paraît préférable.

Le gazon à plat ne s'emploie généralement que pour empêcher les dégradations superficielles sur les talus ou pour la réparation des revêtements pendant l'hiver, quand on s'est servi de terres trop légères sur une trop forte inclinaison ; encore, dans ce dernier cas, doit-on

préférer le gazonnement par assises, lorsque les revêtements sont endommagés sur plus de 0m,10 de profondeur.

184. *Revêtements en maçonnerie.* — Les revêtements en maçonnerie sont, sans contredit, ceux qui présentent le plus de solidité ; ils sont même préférables, sous ce rapport, aux gazonnements par assises les mieux conditionnés. Les revêtements en maçonnerie permettent aussi de maintenir les talus avec la plus forte inclinaison qu'on puisse leur donner.

Mais ne perdons pas de vue qu'il ne s'agit ici que de la consolidation de talus argileux et aquifères ; que les travaux d'assainissement ne peuvent être faits que sur une inclinaison convenable, qui ne peut guère dépasser 45 degrés sans rendre la construction des caniveaux très-difficile, sinon impossible. Aussi a-t-on bien rarement recours, pour les revêtements, à la maçonnerie avec mortier surtout, au moyen de laquelle cependant on pourrait parfois obtenir une économie considérable dans les dépenses, par la réduction du cube total des tranchées.

Les revêtements en maçonnerie se font ordinairement avec des moellons posés à sec et sur des talus dont l'inclinaison varie de 1 à 1 1/2 de base pour 1 de hauteur ; leur seul avantage sur les autres espèces de revêtements ne consiste donc que dans leur plus grande solidité. Mais ils coûtent généralement beaucoup plus cher que les revêtements par assises eux-mêmes, car on ne peut guère compter moins de 3 fr. 50 c. pour prix de revient par mètre carré.

Dans la construction des revêtements en maçonnerie de pierre sèche, on doit s'attacher principalement à

disposer les moellons, à les assembler de telle sorte que toutes les parties d'un revêtement soient solidaires les unes des autres; il faut encore les placer en boutisses et les faire reposer sur des pierrailles ou du gravier, de manière que les joints soient parfaitement garnis, et que les terres soient à l'abri des influences atmosphériques.

Cette dernière condition est certainement l'une des plus difficiles à remplir, et l'on ne peut guère espérer que les joints seront toujours assez convenablement garnis pour que les talus soient à l'abri des gelées ou des pluies ; néanmoins, il est incontestable qu'à prix égal les revêtements en maçonnerie devraient toujours avoir la préférence.

Lehm.

185. Le lehm est, comme nous l'avons dit déjà, une espèce d'argile très-fine, remarquable par la facilité avec laquelle elle devient fluente au contact de l'eau, et particulièrement par l'effet des gelées.

Les travaux pour la consolidation des talus des tranchées ouvertes dans les terrains de cette nature diffèrent peu de ceux qui viennent d'être indiqués pour les talus argileux ordinaires ; ils ne sont guère, en définitive, ni plus difficiles, ni plus compliqués, mais ils exigent une étude plus sérieuse des terrains et beaucoup plus de soin dans l'exécution du travail.

De même que les autres natures de terrains, le lehm se présente sous des aspects très-variés : on le trouve quelquefois presque pur, et alors il est remarquable par une teinte plus pâle, blanchâtre ou cendrée ; souvent il

Digitized by Google

est mélangé avec une assez forte quantité de sable, et peut alors être assimilé aux sables argileux. De plus, il est traversé par des couches aquifères irrégulières qui donnent lieu à des suintements d'une largeur extrêmement variable ; ou bien on ne remarque aucune trace d'humidité intérieure sur toute la hauteur d'un talus.

Des éboulements ne sont pas à craindre lorsque le lehm est mélangé en assez forte proportion et que l'on ne remarque aucune trace de suintement ; mais, quand cette espèce d'argile est plus fine, blanchâtre et traversée par des couches aquifères, les talus doivent être soigneusement mis à l'abri des eaux intérieures et des influences atmosphériques.

186. *Travaux à exécuter.* — Le peu de certitude que peuvent donner les recherches les plus sérieuses sur le nombre et les limites des suintements conduit à exécuter les travaux d'assainissement comme s'il existait un suintement général sur toute la hauteur des talus.

Supposons, par exemple, qu'il s'agisse de consolider un talus représenté par la figure 147, les travaux d'assainissement se composeront de trois caniveaux **A, B, C** près de l'angle intérieur de chaque banquette (fig. 148), d'un empierrement de $0^m,10$ d'épaisseur uniforme sur toute la surface du talus, et d'un recouvrement en gazon à plat bien serré et disposé comme quand il s'agit de recouvrir l'empierrement des caniveaux ordinaires (fig. 149). Il n'est pas inutile d'établir, en outre, d'autres caniveaux *d*, *c*, *f* au-dessous de chaque suintement bien apparent (fig. 148).

Les revêtements se font en bonne terre végétale ; leur épaisseur doit être calculée de manière qu'en y ajoutant celles de l'empierrement et du recouvrement

en gazon, on obtienne une épaisseur totale de 0m,30. On ne doit jamais négliger de les protéger par un semis en graine de luzerne, mélangée, si l'on veut, d'un peu de graine de foin.

Quant aux banquettes et aux cuvettes, elles sont disposées comme quand il s'agit des terrains argileux ordinaires; seulement, dans les tranchées ouvertes dans le lehm de la plus mauvaise nature, il serait toujours prudent de n'établir les banquettes qu'à 3 mètres de distance verticale les unes des autres, sauf à réduire leur largeur jusqu'à 0m,80 ou 0m,75.

Il est incontestable qu'en adoptant de semblables dispositions, les talus doivent être à l'abri de tous risques d'éboulement. En effet, dans le lehm, il ne se produit jamais que des éboulements de surface, à moins que les terrains ne soient coupés en arrière de la crête des talus par des fossés ou même par les piquets de clôture ; lorsque les terres ne sont pas désagrégées, les eaux parcourent sans inconvénient la surface des talus. Par conséquent, en employant des pierres de très-petites dimensions et bien propres, ou du gravier passé à la claie, on n'aura pas à craindre, comme dans les terrains glaiseux, les effets des eaux intérieures passant sur le terrain naturel.

L'empierrement, le recouvrement en gazon et le pilonnage, donnent ensemble toute l'épaisseur suffisante pour que le terrain naturel soit à l'abri des gelées ; la terre végétale pilonnée conserve un degré d'humidité favorable à la végétation, attendu que la couche de gazon la préserve un peu de la sécheresse, et que l'excès d'humidité passe dans l'empierrement. Notons encore qu'avec une aussi faible épaisseur, la solidité des revê-

tements n'est jamais compromise par le ramollissement des terres végétales, puisque l'excès d'humidité est absorbé par l'empierrement; de plus, qu'en augmentant outre mesure l'épaisseur du pilonnage, on en diminue la solidité par cette raison toute simple que les trois couches en pierre ou gravier, gazon et terre végétale, ont fort peu d'adhérence entre elles et avec le terrain naturel, et qu'en élevant le poids des terres végétales du pilonnage, on n'augmente pas en proportion la somme des résistances en vertu desquelles ces terres se maintiennent sur les talus.

Dans le cas où le gazon serait trop rare ou trop cher, on pourrait encore, sans trop d'inconvénients et même avec avantage, le remplacer par des paillassons confectionnés comme il est dit au numéro 202 (fig. 150).

Terrains sablonneux.

187. Le sable étant perméable de sa nature, il semble, au premier abord, que dans de semblables terrains les suintements doivent toujours se trouver près des couches imperméables sur lesquelles ils reposent, qu'alors ils ne diffèrent point des suintements ordinaires, et que, par conséquent, les travaux de consolidation ne présentent en pareil cas que peu de difficultés; aussi jusqu'à présent aucun ingénieur n'a-t-il fait, que nous sachions, une description complète des travaux à exécuter pour la consolidation de tranchées ouvertes dans les terrains sablonneux. Cependant, quand on se représente des exemples tels que la tranchée de Voussy,

Digitized by Google

dont on a si souvent parlé, et la tranchée de la Schantz (ligne de Wissembourg), où le sable était tellement mouvant, que du soir au lendemain les waggons de terrassement se trouvaient enterrés avec les voies provisoires jusqu'aux 2/3 de la hauteur des roues, on ne peut s'empêcher de reconnaître que les embarras causés par les éboulements qui surviennent dans les tranchées argileuses n'ont parfois rien de comparable aux difficultés que l'on éprouve pour la consolidation des talus dans certains sables aquifères.

Les travaux pour la consolidation des terrains sablonneux sont bien différents, selon qu'il existe ou non des suintements sur la hauteur des talus.

Il n'y a pas de suintement quand le sable est grossier, qu'il n'est point mélangé et que la première couche imperméable inférieure se trouve beaucoup plus bas que la plate-forme des tranchées (fig. 138). Si, au contraire, le sable est très-fin et traversé par des filons de terre argileuse ou par des zones de sable diversement perméables, il pourra y avoir un suintement plus ou moins abondant, toutes les fois qu'à une couche très-perméable succédera une couche même de sable, mais moins perméable.

Ainsi, à moins que la quantité des eaux contenues dans le terrain AB (fig. 139) ne soit très-faible, il y aura un suintement à l'intersection des couches sablonneuses DE et EF, un autre entre les couches EF et FG, et un troisième entre FG et CH; il est inutile de dire que dans tous les cas le suintement le plus abondant se trouvera sur la couche argileuse IJ.

188. *Sables secs.* — On se décide quelquefois à consolider les talus dans les sables secs, quand la poussière

qui s'élève au passage des trains endommage les machines et incommode les voyageurs, mais surtout lorsque les dégradations superficielles nécessitent de fréquents nettoyages des contre-fossés.

Les travaux de consolidation consistent alors dans un simple revêtement en terres pilonnées, exécuté comme il a été dit précédemment, en supprimant toutefois les banquettes et les cuvettes.

Un gazonnement à plat ne serait pas suffisant ; car le gazon serait desséché au bout de fort peu de temps et se réduirait bientôt en une mince couche de terre végétale qui ne pourrait se maintenir sur les talus, à cause de la grande mobilité du terrain sur lequel elle reposerait.

189. *Sables aquifères.* — Dans les sables aquifères, les éboulements ne se produisent pas toujours de la même manière ; ordinairement les suintements ne sont que médiocrement abondants relativement à l'étendue des surfaces humides et ne donnent lieu qu'à des dégradations superficielles, à peu près semblables à celles qui se produisent dans le lehm ; mais quelquefois aussi, lorsque le sable est fin et pur, si les eaux intérieures sont très-abondantes, elles entraînent le sable avec une extrême facilité et deviennent alors la cause d'éboulements fort importants.

Dans le premier cas, les travaux de consolidation se font de la même manière que pour le lehm, c'est-à-dire que l'on assainit les talus au moyen d'un filtre général, sans néanmoins se dispenser d'établir un caniveau au-dessous des suintements les plus importants et les mieux déterminés ; les revêtements se font aussi avec une mince couche de terre végétale pilonnée sur laquelle on

Digitized by Google

sème un mélange de graines de foin, de trèfle et de luzerne. Les banquettes et les cuvettes ne sont pas absolument indispensables.

190. *Sables mouvants*. — L'aspect que présentent les terrains sablonneux que les eaux entraînent avec facilité sur les talus des tranchées justifie très-bien la dénomination de sables mouvants sous laquelle on les désigne ordinairement. Les éboulements dans ce cas se succèdent rapidement et sans interruption ; ils sont surtout si peu consistants, que l'on est généralement disposé à en exagérer l'importance et la profondeur.

Les travaux pour la consolidation des talus sont, dans de semblables circonstances, d'une assez grande simplicité dans leur ensemble, mais on ne peut nier que l'on doit toujours rencontrer de sérieuses difficultés dans l'exécution des travaux d'assainissement.

191. *Assainissements*. — Supposons que l'on ait à consolider un talus représenté par la figure 140 ; que la couche AB se compose de sable pur et fin, et que les eaux intérieures très-abondantes occasionnent un mouvement continuel des terres désagrégées et ramollies vers le fond de la tranchée ; les éboulements augmenteront constamment de volume et prendront successivement des formes diverses indiquées à la figure 140 par les lignes ponctuées et produiront des excavations plus ou moins considérables au-dessous de la couche BC qui s'éboulera à son tour. Il n'est pas possible de construire tout d'abord un caniveau sur la couche imperméable ; l'écoulement des eaux et le mouvement des terres ne permettraient pas d'en faire ni la fouille ni la maçonnerie ; on ne pourrait pas davantage établir un empierrement ordinaire sur la hauteur de la couche

aquifère, parce que les pierres ou le gravier se mélangeraient promptement avec le sable mouvant, et, quel qu'en soit le volume, un pareil empierrement n'aurait pas la moindre solidité et n'empêcherait pas les progrès de l'éboulement.

Pour assainir un talus dans de semblables conditions, on a alors recours au procédé suivant : après avoir nettoyé les terres éboulées à la partie supérieure de la couche aquifère sur 1 mètre de longueur environ, on creuse rapidement un redan dans lequel on place immédiatement une fascine remplie de gravier ; la même opération se fait aussitôt à côté et successivement jusqu'à ce que l'on ait placé une rangée horizontale de fascines sur toute la longueur de l'éboulement ; on place alors une deuxième rangée de fascines, puis une troisième (fig. 141) et ainsi de suite et toujours sur le terrain solide, jusqu'à ce que l'on arrive sur le terrain imperméable. Alors on peut commencer à construire le caniveau d'assainissement qui a les mêmes dispositions à peu près que dans les travaux ordinaires, mais en employant des briques de grandes dimensions.

Il ne reste plus ensuite qu'à recouvrir l'empierrement au moyen d'un gazonnement à plat et à achever le revêtement par une couche de bonne terre végétale de $0^{m},05$ à $0^{m},10$ d'épaisseur (fig. 142).

Pour que les fascines soient faciles à transporter et à poser, on ne leur donne ordinairement que $0^{m},80$ de longueur avec un diamètre moyen de $0^{m},25$ (fig. 143 et 144) ; elles se font au chevalet avec des branches fines et flexibles ; le bouleau réunit ces deux conditions ; cependant on doit préférer les branches de genêts, quand on peut s'en procurer. Les fascines sont remplies

avec des pierres cassées de petites dimensions, ou mieux avec du gravier passé à la claie ; deux ouvriers peuvent en faire soixante en un jour.

La seule difficulté réelle que l'on rencontre dans un semblable travail consiste dans la pose des fascines, qui doit s'exécuter très-rapidement et qui ne peut être confiée qu'à des ouvriers habiles et expérimentés. Du reste, en opérant comme nous venons de le dire, on arrête immédiatement les éboulements dans les sables mouvants, sans qu'aucune réparation soit plus tard nécessaire, et nous pouvons ajouter que ce procédé nous a toujours très-bien réussi partout où nous l'avons employé.

Il est évidemment inutile de dire qu'il ne serait pas possible d'établir des banquettes sur les talus lorsque les assainissements se font au moyen de fascines ; par conséquent les revêtements ne sont protégés à leur tour que par les semis.

Les semis se font en graines de foin et de trèfle, et en général avec toutes les plantes capables de donner promptement beaucoup de feuilles et des racines nombreuses, quoique peu profondes.

192. *Perrés dans les terrains mouvants.* — Il arrive assez fréquemment que l'on rencontre au fond des tranchées des terrains tellement compressibles et mouvants, que l'on ne peut établir les voies de fer qu'après avoir assaini la plate-forme au moyen de contre-fossés perreyés. Dans de semblables terrains, que l'on désigne sous le nom souvent inexact de terrains tourbeux, la fouille des perrés présente aussi quelques difficultés. En pareil cas, c'est encore l'eau qui joue évidemment le principal rôle.

Pour obtenir l'espace nécessaire à la construction des perrés, on se croit souvent obligé de maintenir les terres au moyen de pieux et palplanches moisées (fig. 145)[1], avant de commencer le déblai des contre-fossés ; mais un pareil travail est toujours difficile et surtout très-coûteux. Il est beaucoup plus simple, pour effectuer ce déblai, de maintenir les terres en les assainissant avec des fascines, en opérant à peu près comme quand il s'agit de la consolidation des talus dans les sables mouvants.

Ainsi, par exemple, supposons que l'on veuille faire la fouille de deux fossés à perreyer dans une tranchée telle que ABCD (fig. 146).

Si d'un côté quelconque de la plate-forme, en commençant par le point le plus bas de la tranchée, on déblaye l'espace compris entre EDGH (fig. 151), et que l'on place ensuite deux fascines F et *f*, le niveau de l'eau descendra au bout de peu de temps vers la ligne DG ; deux autres fascines étant posées en F' et *f'*, si l'on enlève le prisme BCEH (fig. 152), les eaux s'abaisseront au milieu de CE, et le terrain deviendra résistant sur la hauteur de *hh'*.

En continuant le même travail jusqu'à la profondeur projetée du radier (fig. 153), on obtiendra ainsi au bout d'un certain temps, mais facilement et à peu de frais, l'espace nécessaire à la construction des perrés (fig. 154).

Par suite de l'abaissement du niveau des eaux, le déblai de l'autre contre-fossé ne présentera que de bien moindres difficultés.

[1] *Album des Chemins de fer*, par A. Jacquin.

Terrains avec bancs de glissement.

193. Les procédés dont nous venons de donner la description ne sont plus applicables, ou bien ils seraient insuffisants, dans le cas où les masses reposent sur des surfaces de glissement préexistantes; car la construction des caniveaux et des revêtements à la surface des talus n'auraient alors aucun rapport avec les causes d'éboulement, et ce n'est que bien rarement et par exception que les travaux ordinaires de consolidation seraient de quelque utilité.

En effet, il ne peut plus être question ici de supprimer les causes d'éboulement; car ou on les connaît, les failles et les glacis par exemple, ou bien, elles dépendent de la nature du sol et des influences atmosphériques, et on ne peut les prévoir. Tout ce que l'on peut faire consiste uniquement à produire des forces capables de résister à celles qui tendent à détruire l'équilibre des masses.

Supposons que l'on ait à consolider un talus sur lequel on a reconnu les indices d'un banc de glissement AB, (fig. 155); si la masse venait à se déplacer, le mouvement aurait évidemment lieu suivant la direction de AB, et cette masse ne pourrait être consolidée préventivement qu'en lui opposant vers la tranchée une résistance opposée égale ou supérieure à la force qui cause le mouvement de la masse M.

On arrive très-bien à ce résultat en construisant à la surface des talus un contre-fort en terres pilonnées ABCD

(fig. 156), dont la base AB est inférieure au glacis, et que l'on met à l'abri de l'humidité au moyen d'un empierrement qui sert en même temps à l'assainissement des terres sur toute sa hauteur.

Les contre-forts doivent avoir une longueur à peu près égale à celle du banc de glissement sur le plan des talus. Quant à leur hauteur et à leur épaisseur, elles varient nécessairement avec l'inclinaison des glacis et l'épaisseur des masses qui reposent sur les surfaces de glissement. La base AB est disposée avec une pente opposée de $0^m,05$ à $0^m,10$ par mètre.

Pour la construction des contre-forts, on doit, autant que possible, rechercher des terres de bonne qualité, ou bien, il faut mélanger avec soin celles que l'on a sous la main, afin d'obtenir par le pilonnage une masse compacte et homogène, douée d'une grande force de cohésion. Le pilonnage se fait par couches uniformes, donnant une épaisseur réduite de $0^m,10$ à $0^m,15$.

Quoique l'empierrement ne soit destiné qu'à l'assainissement des terres, il est bon cependant de le construire avec assez de soin, de manière qu'il forme en quelque sorte un mur en pierre sèche, avec une espèce de parement du côté des terres pilonnées. Nous ajouterons, en outre, que, quand les terrains sont très-humides, et même dans tous les cas, il est bon d'interposer une couche de paille ou un lit de gazon à plat, en arrière de l'empierrement, afin d'éviter l'envasement des rigoles d'assainissement. On pourrait, à la rigueur, construire les empierrements avec du gravier ou avec de gros cailloux; mais dans tous les cas, l'emploi des moellons bruts est bien préférable.

Les eaux qui passent dans l'empierrement sont re-

Digitized by Google

çues à la base dans un caniveau en briques établi sur toute la longueur des contre-forts. Lorsque les eaux sont abondantes ou que les glacis n'ont qu'une faible pente longitudinale, rien n'empêche de mettre en communication, avec le caniveau de l'empierrement, d'autres rigoles transversales également en briques, passant sous les contre-forts et conduisant directement les eaux dans les contre-fossés.

194. Lorsque l'inclinaison des glacis dépasse une certaine limite, de 4 à 5 degrés par exemple, la forme des contre-forts doit être modifiée de manière que l'on puisse obtenir une plus grande hauteur et une épaisseur convenable, sans qu'il soit nécessaire de déblayer une trop grande quantité de terres au-dessous des surfaces de glissement.

S'il s'agit, par exemple, de construire un contre-fort pour maintenir les terres au-dessus du glacis AB (fig. 157), incliné à 9 degrés; au lieu de déblayer tout le prisme ACD, il suffit de disposer la base des contreforts par gradins AEFG, ce qui économise un déblai assez considérable de FEGC, tout en réduisant de CG la hauteur de la masse de terre qui reste momentanément presque à pic sans être soutenue. Du reste, les autres observations, concernant la main-d'œuvre du pilonnage et la construction des caniveaux et de l'empierrement, restent les mêmes que dans le cas précédent.

On devrait adopter des dispositions semblables si l'on avait à consolider un talus sur lequel on remarque plusieurs bancs de glissement superposés, et capables de donner lieu à des éboulements de masses.

Ainsi, au lieu d'établir trois contre-forts distincts pour la consolidation d'une tranchée (fig. 158) dans laquelle

on remarque trois bancs de glissement AB, CD, EF, il est suffisant de construire un contre-fort unique avec gradins au-dessus de chaque glacis, de sorte qu'en réalité, on est censé avoir trois contre-forts qui s'appuient, celui de la base, sur le terrain naturel seulement, et les deux autres sur le terrain naturel et en même temps sur le contre-fort partiel inférieur.

195. Comme nous l'avons déjà dit, il n'est pas possible de déterminer ici, même d'une manière générale, la forme précise et les dimensions des contre-forts, car il faudrait tenir compte de la nature des terres du pilonnage, des influences atmosphériques, de la bonne exécution du travail, de la nature et de l'inclinaison des glacis, de l'épaisseur des masses qu'il s'agit de consolider, par conséquent d'un grand nombre d'éléments extrêmement variables. Mais on peut considérer les figures 156, 157 et 158 comme des types que l'on doit modifier selon les circonstances, car c'est bien ici le cas de répéter le mot de M. Collin : « Rien ne supplée au coup d'œil du praticien. »

Seulement, au premier abord, en considérant la disproportion qui existe entre les masses à consolider et celles des contre-forts, on pourrait se demander si le procédé que nous indiquons peut être réellement efficace. L'expérience nous permet de répondre affirmativement, et nous avons pu bien des fois constater l'énergique résistance que les contre-forts présentent à des masses volumineuses en mouvement ; mais, de plus, si l'on voulait s'en rapporter au calcul, on reconnaîtrait que, sans leur donner des dimensions exagérées, les contre-forts sont capables d'une résistance considérable supérieure à la pression qu'ils supportent.

En effet, supposons qu'il s'agisse d'évaluer la poussée d'une masse ABCD (fig. 159) reposant sur une surface de glissement ayant une pente énorme de $0^m,30$, et donnons à cette masse une longueur horizontale de 500 mètres et une épaisseur verticale de 10 mètres. Un éboulement, dans de semblables conditions de volume et de pente, doit être bien certainement une rare exception ; mais supposons encore que la densité des terres atteigne un chiffre très-élevé ; admettons, par exemple, que le poids du mètre cube soit de 2,280 kilogrammes, c'est-à-dire une moyenne entre celui de l'argile (1,800 kilogrammes) et celui du schiste argileux (2,760 kilogrammes), nous aurons :

Poids de la masse ABCD, par mètre courant de tranchée,

$$(500 \times 10 \times 1{,}00) \times 2{,}280 \text{ kilog.} = 11{,}400{,}000 \text{ kilog.};$$

mais, en considérant la ligne AB comme à peu près droite, cette ligne, dont la longueur est de 522 mètres, n'est autre chose que la longueur d'un plan incliné, dont HB est la hauteur.

Par conséquent, le poids relatif de la masse ABCD, pour 1 mètre courant de talus, est au poids absolu 11,400,000 kilogrammes, comme 150 est à 522. Ainsi, l'on a, en désignant par p le poids relatif :

$$p : 11{,}400{,}000 \text{ kilogr.} :: 150 : 522,$$

$$\text{et } p = \frac{11{,}400{,}000 \text{ kilogr.} \times 150}{522} = 3{,}275{,}862 \text{ kilogr.}$$

Si la pesanteur agissait seule, ce chiffre 3,275,862 ki-

logrammes représenterait donc la poussée de la masse ABCD par mètre courant de tranchée ; mais la poussée réelle de B vers A ne peut être que la différence entre cette quantité et la somme des résistances que le frottement et la cohésion opposent au mouvement de la masse ABCD.

Supposons d'abord la masse ABCD en repos. La cohésion ou force transverse instantanée, d'après les expériences de M. Collin, est de $0^k,193$ par centimètre carré pour l'argile de faible consistance, telle qu'elle peut résulter de l'infiltration des eaux de source ou de pluie.

Le coefficient du frottement est 1,00, d'après le même ingénieur, pour l'argile du lias mouillée et rendue glissante par une espèce d'enduit formé par le glissement. Par conséquent, si l'on admet que le frottement est proportionnel à la pression, on reconnaît sans peine que, dans de telles conditions, le frottement lui seul produit une résistance égale au poids absolu lui-même de la masse ABCD. Mais prenons le rapport le plus faible, $0^m,70$, résultat de dix-neuf expériences de M. Collin, nous aurons :

1° cohésion	$= 5220000^{cc} \times 0,193 =$	1,007,460 kil.
2° frottement	$= 11400000^k \times 0,70 =$	7,980,000
	Total.	8,987,460 kil.

D'après ce dernier résultat, on voit que la résistance est supérieure à la poussée de la masse ABCD, et qu'elle est même plus de deux fois et demie plus grande.

Si nous supposons maintenant la masse ABCD en mouvement, le coefficient du frottement pour l'argile

mouillée, comme dans le cas précédent, ne sera plus que de $0^m,223$, et la force de cohésion ou force transverse permanente est de $0^k,119$ par centimètre carré lorsque la consistance est égale à celle de la terre corroyée avec de la brique molle [1].

La somme des résistances deviendrait donc :

Cohésion	$= 5220000^{cc} \times 0,119 =$	621,180 kil.
Frottement	$= 11400000^{k} \times 0,223 =$	2,542,200
	Total.	3,163,380 kil.

Par conséquent, la poussée, dans les conditions les plus défavorables, ne s'élèverait qu'à 112,482 kilogrammes, différence entre 3,275,862 kilogrammes, le poids relatif de la masse ABCD, et la somme des résistances ou 3,163,380 kilogrammes, c'est-à-dire à la 107ᵉ partie du poids total de la masse ABCD.

Examinons maintenant quel est le degré de résistance des contre-forts construits pour maintenir l'équilibre des masses, quand les forces de frottement et de cohésion peuvent être insuffisantes.

Supposons à un contre-fort, construit comme il a été dit précédemment, les dimensions de la figure 160 : le volume par mètre courant sera de $82^{m^3},80$.

L'effet d'une poussée P ne peut évidemment être que le glissement de la masse AGFD, suivant le plan incliné AG, ou de la masse ABFD, suivant la base horizontale AB. La résistance se composera donc encore ici du frottement et de la cohésion qui s'exercent suivant AG ou AB.

[1] M. Collin, *Recherches expérimentales sur les glissements spontanés.*

Le cas le plus défavorable serait celui où la poussée serait horizontale, et où le glissement aurait lieu suivant AB. Voyons quelle serait la résistance totale du contre-fort (fig. 160) dans de telles circonstances.

Prenons pour poids du mètre cube une moyenne approximative entre le poids de la terre franche et celui de l'argile : soit 1,700 kilogrammes. Les contre-forts doivent être construits de manière que la cohésion et le frottement atteignent leur maximum d'intensité; cependant, admettons tout simplement comme ci-dessus :

1° Force transverse instantanée = $0^k,193$ par centimètre carré;

2° Frottement des surfaces en repos, $0^k,70$.

La somme des résistances se composera ainsi :

1° cohésion	= 120000^{cc} × 0,193 =	23,160 kil.
2° frottement	= (82,80 × 1700^k) × 0,70 =	98,532
	Total.	121,692 kil.

Observons maintenant que si le glissement devait se produire suivant la base inclinée AG, l'énergie du frottement ne pourrait que s'en augmenter, malgré la différence de nature des surfaces en contact, à cause de la plus grande surface du profil et de l'angle qui formerait la direction de la poussée avec la ligne AG.

Et si la poussée, au lieu d'être horizontale, était oblique, telle que P' (fig. 160), il est évident que la résistance des contre-forts augmenterait avec l'ouverture de l'angle (*a*) que formerait P' avec l'horizontale.

196. Dans le cas de la figure 161, supposons que l'on veuille consolider le talus AB au moyen d'un contre-fort disposé comme à la figure 158. En admettant que le

contre-fort n'oppose qu'une résistance insuffisante à la poussée de la masse LHMN, la masse de terres pilonnées tendra à se rompre suivant la direction du mouvement, c'est-à-dire suivant HFA, la masse AJIF étant supposée compacte et bien homogène avant que cette rupture se produise, la pression devra vaincre la résistance de cohésion et de frottement qui s'opère suivant cette ligne HFA. Admettons même que cette rupture ait lieu suivant l'horizontale HP, le volume du prisme PHIJ étant de $75^{m^3},60$ par mètre courant, on aura, en se servant des coefficients du dernier exemple :

Cohésion	$= 120000^{cc} \times 0,193 =$	23,160 kil.
Frottement	$= (75,60 \times 1700^{k} \times 0,70 =$	89,964
	Total.	113,124 kil.

En rapprochant ce dernier résultat de celui que nous avons obtenu pour la poussée de la masse ABCD (fig. 159), on reconnaît que la résistance du contre-fort (fig. 161) est de 642 kilogrammes supérieure à la poussée de la masse HLMN, que nous avons d'abord supposée égale à celle de ABCD (fig. 159).

Ainsi donc, en choisissant les éléments les plus défavorables pour l'évaluation de la poussée des terres comparée à la résistance des contre-forts, on voit qu'il est très-facile de maintenir l'équilibre des masses les plus volumineuses. Sans doute, nous n'avons pas tenu compte de tous les éléments du calcul, et nous avons admis des coefficients dont l'exactitude est contestable ; mais il est à remarquer aussi que d'un côté nous avons exagéré la pente du terrain, le poids des terres, et que nous n'avons pris que les coefficients les plus faibles, tandis que, dans

l'évaluation de la résistance des contre-forts, nous avons diminué les coefficients de frottement et de cohésion, tout en supposant les circonstances les plus défavorables à la résistance totale.

197. Nous n'accordons pas, nous devons le dire, beaucoup de crédit aux résultats d'expériences faites sur la cohésion et le frottement sur une trop petite échelle, et nous ne nous en sommes servi dans les explications précédentes que dans la supposition où elles pourraient offrir quelque intérêt de curiosité. Néanmoins, nous maintenons toujours notre affirmation sur l'efficacité des contre-forts, car pour nous, il est évident que dans la plupart des cas, les masses en mouvement ne sont douées que d'une force relativement très-faible.

Une évaluation plus directe et plus positive de cette force serait celle que l'on tirerait de cette proposition que les forces sont les produits des masses par les vitesses ; or, quand il s'agit du mouvement des terres éboulées, ce mouvement est généralement excessivement faible et ne donnerait qu'une fraction à peine appréciable par seconde, et quelle que soit la masse des éboulements dans les circonstances où ils se produisent ordinairement, on n'arriverait, d'après ce principe, qu'à un produit souvent inférieur aux résultats précédents.

198. Mais, pour que les contre-forts soient réellement efficaces, il faut, comme nous l'avons déjà dit, qu'ils présentent une masse compacte et homogène, ce que l'on ne peut obtenir que par un choix ou un mélange convenable des terres, un pilonnage sérieux et uniforme; car si, par exemple, il se trouve dans toute la masse des couches de terre plus ou moins perméables, ou, comme cela peut fort bien se présenter, lorsque les travaux se

font en hiver, si une couche de terre gelée se trouve interposée vers le milieu de la hauteur d'un contre-fort, le ramollissement peut nuire considérablement à la solidité de la masse de terres pilonnées, surtout si l'on s'est servi de terres argileuses.

199. Nous n'avons parlé jusqu'ici que des contre-forts en terres pilonnées ; on a peut-être déjà fait cette remarque qu'il serait préférable de leur substituer des contre-forts en maçonnerie. La maçonnerie vaudrait sans doute mieux que les terres pilonnées ; mais il est bon d'observer qu'alors les dépenses pour l'achat des matériaux et la main-d'œuvre seraient, dans les circonstances ordinaires, sept ou huit fois plus élevées que la somme nécessaire au transport et au pilonnage des terres ; et qu'en outre, dans les contre-forts en terre faits dans de bonnes conditions, la résistance diffère peu de celle des contre-forts en maçonnerie, et que parfois même elle lui est égale, sinon supérieure.

200. Telles sont, en résumé, les dispositions générales suivant lesquelles les travaux préventifs doivent être exécutés. Nous avons la conviction qu'en combinant avec discernement les différents procédés que nous venons de décrire, on arrivera toujours à consolider les talus de tranchées avantageusement et avec facilité. Mais, comme on a dû le remarquer, les procédés de consolidation des talus ont une relation directe avec les causes d'éboulement ; de plus, ils dépendent souvent de circonstances locales particulières toujours très-variables. Par conséquent, il serait absurde de prétendre que les travaux de consolidation des talus doivent être exécutés sur des types uniformes, selon que les terrains se rapprochent plus ou moins des cas les plus généraux

Digitized by Google

que nous venons d'examiner. Tout procédé de consolidation est bon s'il atteint ce double but : solidité et économie; toutes les autres considérations, telles que la symétrie, le coup d'œil, sont toujours très-secondaires, et le temps a fait justice du soin excessif avec lequel on s'attachait autrefois à obtenir des talus parfaitement réglés, ornés de gazonnements très-bien faits et régulièrement disposés, mais inutiles.

Nous terminerons ce chapitre par l'indication de quelques exemples particuliers de travaux préventifs qui ont été exécutés pour la consolidation de cinq tranchées de la sixième division de la ligne de Paris à Mulhouse.

1° Tranchée de la Côte (fig. 163).

201. Les talus de cette tranchée avaient été d'abord réglés à 45 degrés; la partie inférieure composée de terrains argileux mélangés se dégradait successivement à l'époque des pluies et des dégels, et les éboulements étaient aggravés par l'écoulement des eaux intérieures des suintements *a*, *b*, *c*. Les couches supérieures se composent de terrains perméables quelquefois traversés de sables argileux, mais peu susceptibles de devenir fluents au contact de l'eau.

La consolidation des talus a été obtenue par l'assainissement du terrain argileux au moyen des caniveaux ordinaires recouverts en grande partie avec de la mousse, à cause de la difficulté de se procurer du gazon, et d'un revêtement de la base des talus avec des terres

provenant de la partie supérieure. On s'est procuré l'espace nécessaire à l'emplacement du revêtement par la construction de perrés qui, sans diminuer l'espace nécessaire à l'établissement des voies, servent en même temps à soutenir le pilonnage et à faciliter l'écoulement des eaux.

Les terres du revêtement sont de très-médiocre qualité; mais en raison du peu de hauteur du talus AB, on n'a eu à réparer après le premier dégel que quelques dégradations de peu d'importance, et pendant l'hiver de 1859-60, les travaux d'entretien n'ont eu pour objet que de faciliter l'écoulement des eaux sur les banquettes et dans les contre-fossés.

2° Tranchées de Ronchamp.

202. Les deux tranchées aux abords de la station de Ronchamp ont été ouvertes dans un terrain argileux de l'espèce que l'on désigne sous le nom d'*argilolite*. Ce terrain est traversé d'un assez grand nombre de couches aquifères, qui donnent lieu, sur le talus côté gauche, à des suintements fort abondants, mais très-irréguliers, à l'époque des fortes pluies et des dégels. Le terrain présentait à peu près partout le même aspect, et il était très-difficile de distinguer les couches aquifères; les suintements ne pouvaient se découvrir que vers le milieu du jour, par une sécheresse modérée et après quelques jours de pluie.

Pendant la construction, la consistance du terrain était telle, qu'il a fallu avoir recours à la mine pour une

grande partie des déblais ; et, par cette considération, on avait pensé que pour les talus, une inclinaison de 45 degrés serait suffisante.

Mais comme on le sait, l'argilolite se désagrége promptement au contact de l'air et se réduit, par la sécheresse, en fragments fort petits, mais indépendants les uns des autres, ou bien les terrains de cette espèce deviennent très-fluents par l'action prolongée des eaux intérieures de filtration.

Les travaux de consolidation ont eu pour objet d'éviter de fréquents nettoyages de fossés et de prévenir des éboulements semblables à celui qui s'est produit à la fin de l'hiver 1858-59, et qui n'avait pas moins de 800 mètres cubes, et dont la base atteignait presque la voie exploitée.

Ce résultat a été obtenu par un adoucissement des talus et par l'assainissement des terres. L'inclinaison des talus est aujourd'hui de 1^{m},25 pour 1 mètre de hauteur avec banquettes étayées de 4 mètres en 4 mètres : ce qui donne une inclinaison moyenne de 1^{m},50 de base pour 1 mètre de hauteur.

Toutes les banquettes ont été gazonnées et ont été disposées suivant des pentes longitudinales à la jonction inférieure desquelles on a construit des cuvettes en maçonnerie de 0^{m},80 de largeur. La base des talus a été perreyée afin d'obtenir une banquette AB (fig. 164) sur laquelle seront déposées successivement, suivant ABCD, toutes les terres désagrégées entraînées vers la partie inférieure de BD par le seul effet de la pesanteur ou du vent ou par le mouvement des eaux pluviales.

Les terres ont été assainies avec des caniveaux ayant les dispositions ordinaires, à l'exception de la fouille qui

est plus profonde afin que les caniveaux, placés à une plus grande distance de la surface des talus, soient pour toujours à l'abri des gelées. Les bancs de suintement atteignant parfois une très-grande hauteur, la fouille des caniveaux et l'empierrement ont été disposés comme l'indique la figure 164.

Pour le recouvrement de l'empierrement des caniveaux, le prix assez élevé du gazon nous a imposé l'obligation de chercher à le remplacer d'une manière convenable. La paille ordinaire, étant placée comme nous l'avons déjà dit, est quelquefois glissante et peut nuire à la solidité des caniveaux quand les empierrements ont une certaine hauteur. En présence de ces difficultés, nous avons eu l'idée de recouvrir les empierrements avec des paillassons formés de torons de paille de $0^{m},02$ à $0^{m},03$ d'épaisseur, rapprochés et solidement serrés avec de la petite ficelle, dite *ficelle de cuisine*.

Ce nouveau moyen de recouvrir l'empierrement des caniveaux offre de nombreux avantages et mérite d'être signalé; les paillassons se confectionnent très-facilement et à peu de frais; pendant que le gazon est quelquefois fort rare, on peut se procurer de la paille partout; deux ouvriers peuvent aisément faire 20 mètres carrés de paillassons par jour. Aux tranchées de Ronchamp et à quelques autres chantiers où nous avons eu récemment recours à ce mode de recouvrement, le mètre carré ne revenait pas à plus de 35 centimes, pour fourniture, transport et façon.

De plus, les paillassons peuvent être faits avec une largeur en rapport avec l'étendue des surfaces à recouvrir; le travail se fait plus régulièrement et plus proprement, et les terres végétales qui complètent le revête-

Digitized by Google

ment des caniveaux se maintiennent très-solidement dans l'espace *abcd* (fig. 164).

Les talus, côté gauche des tranchées de Ronchamp, étant ainsi mis à l'abri des eaux intérieures et protégés contre l'action des eaux pluviales au moyen des banquettes, il n'était plus nécessaire de faire un revêtement en terres végétales pilonnées. Un simple semis sur une couche de terre végétale de $0^m,04$ à $0^m,05$ d'épaisseur a été suffisant pour compléter les travaux préventifs de consolidation.

3° Tranchée du Chevannel (fig. 162 et 176).

205. Le terrain se compose d'argilolite et de schistes argileux et se trouve traversé en différents endroits par des bancs de glissement formés par des filons de $0^m,01$ à $0^m,02$ d'épaisseur d'une argile blanche et très-fine. La plus grande partie du déblai a été faite à la poudre ; les talus côté gauche étaient à $0^m,82$ de base pour 1 mètre de hauteur. Les fréquents nettoyages des fossés, nécessités par la désagrégation des terres, et un éboulement très-volumineux, dont il sera parlé plus loin, ont démontré la nécessité absolue de consolider les talus côté gauche. Il existe sur la surface des talus quelques suintements au-dessous des bancs de pierre et particulièrement à la partie inférieure.

Les travaux ont consisté principalement dans l'adoucissement des talus et la consolidation de l'éboulement.

Pour économiser environ 20,000 mètres cubes de déblai à la poudre, le pied des talus a été rapproché de

$0^m,52$ vers l'axe et à $1^m,50$ au-dessus de la plate-forme des terrassements. Le talus a été réglé à $1^m,25$ de base pour 1 mètre de hauteur avec banquettes de 4 mètres en 4 mètres, ce qui donne ainsi une inclinaison moyenne de $1^m,50$ de base pour 1 mètre de hauteur; il a été mis en outre à l'abri des eaux pluviales par des banquettes et des cuvettes, et par l'établissement d'un revers d'eau au-dessus de la tranchée. Les dispositions adoptées pour la partie inférieure ont eu principalement pour objet : d'abord, comme nous venons de le dire, de réduire le cube total du déblai supplémentaire, et ensuite de protéger la voie contre le mouvement des terres désagrégées au moyen d'un revêtement en terres pilonnées qui recouvre un empierrement de $0^m,15$ d'épaisseur, destiné à l'assainissement du premier talus partiel et inférieur.

Le mur de soutènement construit avec des pierres provenant de la tranchée est maçonné avec mortier hydraulique sur $0^m,50$ d'épaisseur; en arrière, il est formé de moellons bruts posés à sec. Ce mur est uniquement destiné à soutenir le pilonnage et à relever le point A (fig. 162), afin de diminuer le volume du déblai supplémentaire.

Lorsqu'il a fallu consolider l'éboulement survenu au mois d'août 1858, la nécessité de conserver un point d'appui au contre-fort n'a plus permis de continuer le déblai supplémentaire vers Mulhouse. Alors, pour préserver des influences atmosphériques la partie du talus qui devait conserver une inclinaison trop roide, on a eu recours à un gazonnement à plat de toute la surface ABCDE (fig. 176).

Ce gazonnement pourra peut-être se dessécher au bout d'un an ou deux ; mais alors il produira une couche

de terre végétale qui sera soutenue par les racines des plantes et probablement par des ronces. Afin d'en augmenter la solidité et la durée, nous avons employé un moyen qui a donné jusqu'ici d'excellents résultats. Le gazonnement est maintenu par de forts piquets de 0m,30 de longueur et distants de 1 mètre les uns des autres, enfoncés dans des trous creusés à l'avance avec des barres à mine, et par des fils de fer parfaitement tendus et solidement attachés à chaque tête de piquet.

4° Tranchée de Norval (fig. 165).

206. Toute cette tranchée est ouverte dans un terrain sablonneux traversé irrégulièrement de minces couches d'argile ; suintements nombreux et très-irréguliers. Le talus côté droit est à 1 mètre 1/2 de base pour 1 mètre de hauteur, l'autre talus est à 45 degrés ; malgré une légère pente du terrain naturel, les causes d'éboulement superficiel sont les mêmes pour les deux talus.

Travaux effectués : 1° assainissement au moyen de caniveaux à chaque suintement ; 2° revêtement en terres pilonnées provenant des couches supérieures de la tranchée ; 3° perrés, et 4° semis.

Le talus côté droit n'a subi aucune dégradation après avoir été consolidé, mais quelques travaux ont été nécessaires après le premier hiver pour la réparation du talus côté gauche ; pendant et après l'hiver de 1859-60, la dépense pour travaux d'entretien a été insignifiante et ne s'est appliquée qu'à quelques journées d'ouvriers

employés au nettoyage des fossés et à l'entretien des banquettes.

Les dégradations, que l'on eut d'abord à réparer sur le talus côté gauche, étaient faciles à prévoir. Ce talus était trop roide et les terres trop légères, trop sablonneuses avec lesquelles le revêtement a été fait devenaient nécessairement fluides à l'époque des pluies et des dégels, avant que le tassement fût complet. Il semble qu'il fallait donc, en premier lieu, adoucir le talus et rechercher de bonnes terres pour le pilonnage du revêtement ; mais c'était alors une dépense supplémentaire d'environ 2,000 francs, et les travaux extraordinaires d'entretien ne pouvaient pas s'élever à cette somme. D'ailleurs, les transports de terres d'un déblai supplémentaire ne pouvaient se faire qu'à une grande distance et avec des lorrys sur une voie exploitée, moyen de transport fort coûteux et quelquefois même dangereux, malgré la plus active surveillance. Les travaux de consolidation du talus côté gauche, exécutés en conservant l'inclinaison primitive des talus et en se servant pour le revêtement de terres de mauvaise qualité prises sur place, présentaient donc quelques chances de dégradations ; mais il était certain qu'il en résulterait, en définitive, une économie considérable. Il semble qu'en pareilles circonstances un constructeur ne devrait jamais hésiter et adopter les dispositions les plus avantageuses au point de vue de la dépense ; mais nous comprenons parfaitement bien que pour agir ainsi, on a quelquefois besoin d'avoir déjà fait ses preuves et pouvoir en toute occasion, mettre au-dessus de toutes considérations d'amour-propre l'intérêt bien entendu des Compagnies.

5° **Tranchée de Valdieu** (fig. 178 *bis*).

206 *bis*. Terrain formé de la variété de sable argileux connu sous le nom de lehm. Eboulements superficiels à la fin de chaque hiver, par suite des effets de la gelée.

Les traces d'humidité intérieure sont très-apparentes mais mal déterminées. Des essais ont été faits inutilement pour consolider les talus par le drainage avec tuyaux et par le procédé du clayonnage.

La réparation des talus a été définitivement obtenue par les moyens indiqués au numéro 186, savoir : 1° établissement d'un empierrement avec gravier passé à la claie de 0m,15 d'épaisseur sur toute l'étendue des surfaces où l'on a remarqué des traces d'humidité dans le terrain naturel ; 2° recouvrement de la pierrée au moyen d'un gazonnement à plat de 0m,10 d'épaisseur ; 3° enfin, revêtement en terres végétales de 0m,15 d'épaisseur. La banquette figurée à la base du talus a été formée d'une partie des terres éboulées ; elle augmente la solidité du revêtement et peut retenir les terres susceptibles d'être entraînées par les eaux pluviales. L'on a cru utile de garantir le talus inférieur par un gazonnement de 0m,10 d'épaisseur.

Le prix de revient est de 1 fr. 67 c. environ par mètre carré.

A la suite du premier hiver, il s'est produit quelques petites dégradations insignifiantes de 0m,04 à 0m,08 d'épaisseur, et seulement dans les surfaces non encore recouvertes de végétation.

Travaux répressifs.

207. On se demande parfois pourquoi les travaux pour la réparation des talus éboulés paraissent offrir plus d'intérêt que les travaux préventifs; ces derniers présentent quelquefois moins de difficultés d'exécution, mais aussi il y a évidemment un avantage réel et sérieux de prévenir, à peu de frais et en temps opportun, des accidents qui sont toujours la source d'une foule d'inconvénients, dont le moindre consiste dans des dépenses considérables. C'est que l'origine des éboulements n'a pas encore été jusqu'à ce jour suffisamment étudiée, c'est parce que les constructeurs ne soupçonnent pas les causes du mouvement des masses avant qu'elles aient produit des effets palpables, ou qu'ils n'ont pas assez de confiance dans leur expérience des travaux de terrassements et qu'ils craignent de faire des dépenses inutiles. Après la formation des éboulements, au contraire, on est certain qu'il existe des causes capables de rompre l'équilibre des masses; ces causes sont plus faciles à saisir et l'on n'a plus qu'à s'occuper des moyens de consolidation les plus convenables, les mieux appropriés à l'origine des éboulements.

La première mesure prescrite pour la consolidation des éboulements, c'est, d'après presque tous les ingénieurs qui se sont occupés de ce genre de travaux, d'enlever toutes les terres éboulées; M. de Sazilly lui-même croit qu'il est indispensable de découvrir le terrain naturel et d'appliquer ensuite ses procédés de consoli-

dation. M. Perdonnet, en publiant dans le *Nouveau Portefeuille de l'Ingénieur* notre Mémoire sur les travaux de consolidation et en insistant sur la description de nos procédés les plus avantageux dans son *Traité élémentaire des chemins de fer*, a, nous le croyons, appelé pour la première fois l'attention des ingénieurs sur les inconvénients du déblai des éboulements très-volumineux et sur la possibilité de les consolider sans recourir à des travaux aussi dispendieux.

N'est-il pas bien étonnant que l'on ait tout calculé, tout apprécié dans ce qui concerne l'art des constructions et que l'on redoute tant la puissance des terres en mouvement. On entreprend sans hésiter la réparation, la consolidation d'édifices qui ont des dimensions colossales et l'on s'arrête devant une masse de boues ou de terres disloquées de quelques dizaines de mètres de largeur, quand il serait si facile, soit de supprimer les causes du mouvement, soit de produire des résistances supérieures.

Les travaux répressifs sont bien différents, selon qu'il s'agit d'éboulements superficiels ou de ceux que l'on désigne sous le nom d'éboulements par masses. La distinction entre ces deux espèces d'éboulements et par suite les procédés de consolidation ne dépendent ici que de l'évaluation des dépenses.

208. *Eboulements superficiels.* — Tant que les éboulements n'atteignent que 2 ou 3 mètres d'épaisseur à peu près, les travaux de consolidation sont presque semblables aux travaux préventifs ordinaires. Dans ce cas, nous ne connaissons pas de moyen qui puisse dispenser d'enlever les terres éboulées. Les talus, après avoir été proprement nettoyés sont ensuite mis à l'abri de l'action

des eaux intérieures et des influences atmosphériques par la construction de caniveaux d'assainissement et d'un revêtement en terres pilonnées avec banquettes et cuvettes, comme il a été dit précédemment.

La forme définitive des talus seulement doit être modifiée d'après la configuration du terrain naturel. Ainsi, par exemple, supposons que l'on veuille consolider un talus éboulé comme à la figure 167. On ne pourrait pas, sans modifier le profil primitif, assainir et consolider un semblable talus ; car il faudrait, sans nuire à la solidité de la couche perméable, obtenir une banquette assez large pour construire un caniveau d'assainissement C (fig. 168), et disposer le revêtement de manière que les terres rapportées ne se trouvent pas dans les mêmes canditions d'équilibre que les terres éboulées. Dans un cas pareil, on est obligé de déblayer l'espace *abcd* (fig. 168) pour obtenir une banquette *ab* de 0m,35 de largeur environ et un talus *bc* de 45 degrés au moins. Ensuite, on doit découper le terrain naturel par redans à la base du talus, afin que le revêtement repose sur des surfaces planes et inclinées en sens inverse de la pente du talus. Et si le dessus du premier suintement a peu de hauteur et que la couche perméable P présente assez de solidité, rien n'empêche d'arrêter le revêtement à la hauteur de AB (fig. 169) pour diminuer le volume des terres pilonnées et former une banquette qui sert à faciliter l'écoulement des eaux pluviales : ce qui ne dispense pas pourtant, au besoin, d'établir au-dessus de la tranchée une banquette en revers d'eau CD.

Lorsqu'il existe une surface naturelle de glissement et que les talus ont peu de hauteur, on peut encore, comme nous avons fait à la tranchée de Briel (ligne de

Mulhouse), disposer le revêtement de manière qu'il serve en même temps de contre-fort à la masse qui repose sur la surface de glissement.

Quelquefois, cependant, on est forcé de rétablir le profil primitif des talus; c'est principalement quand on rencontre trop de difficultés pour maintenir un élargissement des tranchées, par exemple, aux abords des villes, où les acquisitions de terrains exigent trop de temps avec beaucoup de formalités et quand il y a, près des tranchées, des chemins d'exploitation ou des routes que l'on ne peut dévier sans de nombreux inconvénients.

C'est ainsi que nous avons consolidé d'après la figure 170 un éboulement de 4 à 5 mètres d'épaisseur et de 40 mètres de longueur à la tranchée des Barres, près de la gare de Belfort (ligne de Mulhouse).

Les éboulements se produisant sous des formes extrêmement variées, nous croyons inutile de multiplier les exemples; car la consolidation des talus avec éboulements superficiels ne présente pas, pour ainsi dire, plus de difficultés que les travaux préventifs ordinaires

209. *Eboulements de masses.* — Lorsque les éboulements sont très-volumineux, on doit, en général, se proposer ce double but :

1° Assainir le terrain vierge en arrière des masses éboulées;

2° Consolider les éboulements afin de se dispenser d'en effectuer le déblai.

210. Les travaux d'assainissement pourraient se faire à la manière ordinaire, en dégageant le terrain naturel et en lui donnant une inclinaison convenable, par exemple, suivant la ligne AB (fig. 171). Mais il suffit toujours, après avoir construit un caniveau en briques à

la base, d'établir un simple empierrement comme à la figure 173. La capacité du caniveau en A (fig. 171), c'est-à-dire les dimensions des briques doivent être en rapport avec l'abondance des eaux intérieures. L'empierrement peut être fait avec toutes espèces de matières perméables, mais de préférence avec des moellons posés à sec et avec soin ; sa hauteur dépend de la distance qui sépare le suintement S de la surface du sol. Le vide EAB est ensuite rempli avec les terres que l'on a d'abord extraites dans cet espace, et il suffit alors que ces terres soient simplement régalées par couches de 0m,20 à 0m,30 d'épaisseur. Le pilonnage n'est point indispensable.

Pour faciliter les travaux d'assainissement quand la hauteur AB est considérable, la construction du caniveau et de l'empierrement ne doit se faire que par longueurs partielles et successives de 3, 4 ou 5 mètres, selon la profondeur du glacis et les difficultés que présente le déblai dans l'espace EAB ; et, autant pour la sécurité des ouvriers que par raison d'économie, chaque déblai partiel doit servir à remblayer l'espace tel que EAB (fig. 171) de celui qui a été effectué précédemment.

La pente longitudinale des caniveaux ne peut être moindre que 0m,01 par mètre ; elle est calculée à l'avance sur la pente du glacis ou sur les résultats de quelques sondages.

211. On arrête le mouvement des masses éboulées au moyen de contre-forts en terres pilonnées séparés des éboulements par un second empierrement (fig. 171).

A la base de cet empierrement construit comme précédemment, le caniveau C' doit se trouver à 0m,10 ou 0m,15 au moins au-dessous du glacis afin qu'il ne puisse

jamais être détruit par un mouvement de la masse M venant se presser contre le contre-fort P.

Le talus extérieur A'B' des contre-forts se trouve ordinairement dans le plan du talus du projet des tranchées, et le cube tel que A'D'B' qui dépasse A'B', doit nécessairement être enlevé pour obtenir le profil normal, et transporté en remblai, à moins que le transport de ces terres ne présente quelques difficultés, auquel cas on pourrait les placer sans trop d'inconvénients dans l'espace E produit par la dépression des terres éboulées.

Dans le plus grand nombre de cas, les contre-forts peuvent être faits avec les terres mêmes de l'éboulement, pourvu qu'elles soient suffisamment mélangées ; car si ces terres sont argileuses, elles sont douées d'une grande force de cohésion, et la poussée de la masse M se répartit plus uniformément sur toute la longueur des contre-forts. Si, au contraire, elles sont légères et sablonneuses, elles sont quelquefois plus pesantes, et ne deviennent jamais trop molles par un excès d'humidité, parce qu'elles sont alors perméables.

Afin de ne pas détruire l'équilibre provisoire des masses éboulées, il ne faut jamais construire les contre-forts que par portions de 8 à 10 mètres de longueur, en commençant par les extrémités des éboulements.

Quant au pilonnage, il doit être exécuté comme il a été dit à propos des travaux préventifs dans les cas où il existe des bancs de glissement préexistants. Quelle que soit la nature des terres employées, il est nécessaire que les couches d'épaisseur uniforme soient partout également pilonnées, afin que le tassement s'opère ensuite régulièrement.

212. Le glacis des éboulements peut se trouver, soit au niveau de la plate-forme, soit au-dessus, soit au-dessous. Pour chacun de ces cas particuliers, les dispositions générales sont les mêmes que celles qui viennent d'être indiquées. Il n'y a de modification importante que dans la construction des contre-forts, lorsque le glacis est déterminé par un suintement qui se trouve plus bas que la plate-forme. Alors le contre-fort en terres pilonnées doit reposer sur un enrochement ABCDE que l'on élève jusqu'à $0^{m},10$ à $0^{m},15$ au-dessus du fond des contre-fossés (fig. 172). De cette façon, les terres pilonnées du contre-fort complétement isolées par l'enrochement ABCDE et l'empierrement CH ne peuvent jamais rien perdre de leur force de cohésion par le contact des eaux intérieures. Nous croyons inutile d'ajouter que l'empierrement CH communique en pareille circonstance avec l'enrochement, et que l'on est alors dispensé de construire un caniveau d'assainissement.

213. Les contre-forts composent la partie essentielle des travaux de consolidation des talus éboulés. Ce n'est que très-rarement et par exception qu'il est utile d'assainir le terrain naturel en arrière des éboulements; car, après la construction des contre-forts, la masse des terres éboulées une fois consolidée devient elle-même une espèce de contre-fort qui maintient la surface verticale du terrain solide.

Généralement, à la suite du mouvement des terres, il se produit dans les masses éboulées des fissures par lesquelles les eaux de filtration s'écoulent aisément sans produire un ramollissement trop considérable et de manière que les terres des éboulements ne sont point un obstacle à la sortie des eaux intérieures du terrain naturel.

Du reste, quelques exemples suffiront pour éclaircir complétement, nous l'espérons, les explications qui précèdent.

1° Tranchée de Briel (fig. 173 et 174).

214. Glacis à 1m,50 au-dessus de la plate-forme. Assainissement en arrière. Contre-fort peu volumineux en raison de la faible inclinaison du glacis. La masse éboulée d'un volume d'environ 8,000 mètres cubes n'a tassé que de 0m,05 à 0m,06 après l'achèvement des travaux de consolidation.

L'assainissement en arrière des terres éboulées a été jugé nécessaire parce qu'il existait dans le bois, au-dessus de la tranchée, plusieurs fossés presque toujours remplis d'eau dans la direction de la plate-forme de l'éboulement. De plus, le chemin d'exploitation ayant été rétabli sur les terres éboulées, on pouvait craindre que le passage fréquent des voitures dans la mauvaise saison ne produisît des ornières profondes dans lesquelles les eaux pluviales pourraient séjourner à l'époque des pluies.

2° Tranchée de la Voivre (fig. 175).

215. Glacis au niveau de la plate-forme. Le volume des terres éboulées est d'environ 70,000 mètres cubes. Construction d'un contre-fort de 8 mètres d'épaisseur à la base et d'un fossé de ceinture maçonné avec mortier hydraulique à 5 mètres plus loin que la dernière rupture.

3° Tranchée du Chevannel (fig. 176, 177 et 178).

216. Glacis incliné à 13 degrés. L'éboulement, qui était d'abord d'environ 10,000 mètres cubes, a été réduit par suite du déblai supplémentaire de la tranchée à 7,000 mètres cubes. Cet éboulement, qui est limité du côté Paris par une faille dont la direction est oblique par rapport à l'axe, commence au niveau de la plate-forme et s'étend jusqu'à 60 mètres mesuré perpendiculairement à la voie.

Construction d'un contre-fort en pierres dans la partie inférieure à cause du peu d'épaisseur de l'éboulement à la base, et, entre les points A et B (fig. 176), d'un contre-fort en terres pilonnées prises dans l'éboulement ou provenant du déblai supplémentaire.

4° Tranchée du Grivé (fig. 172).

217. Glacis à $1^m,15$ au-dessous de la plate-forme. Le volume de l'éboulement est d'environ 2,000 mètres cubes sur 50 mètres de longueur. Il n'a été enlevé que 150 mètres cubes de terres éboulées. Le contre-fort en terres pilonnées repose sur un enrochement de $1^m,05$ d'épaisseur, et, pour lui donner plus de résistance en augmentant son volume sans modifier la largeur à la base ni la hauteur, on a construit une murette maçonnée *m*, avec mortier hydraulique, inclinée à 1/5, qui permet de maintenir le talus du contre-fort presque à pic sur $0^m,60$ de hauteur.

2° REMBLAIS.

218. Les travaux pour la consolidation des remblais sont, comme pour les talus des tranchées, préventifs ou répressifs.

L'on sait tous les embarras que cause le mauvais état des remblais pendant l'exploitation des chemins de fer et les difficultés que l'on éprouve parfois pour faire convenablement, et en peu de temps, les réparations urgentes. Cependant, dans notre opinion, les travaux préventifs, en considération de leur importance, devraient toujours tenir le premier rang; car il est très-facile de connaître à l'avance les causes d'éboulement de remblais, soit en cours d'exécution, soit même avant de commencer les travaux de terrassement et d'exécuter en temps opportun des travaux de consolidation peu coûteux, au moyen desquels on évite des embarras considérables et des dépenses inutiles.

1° Travaux préventifs.

219. *Remblais sur des terrains inclinés.* — Quand un remblai doit reposer sur un sol très-incliné dans le sens transversal (fig. 48) et qu'il doit être fait avec des terres de mauvaise nature, il est très-facile de lui donner une assiette convenable en coupant le terrain naturel par redans, comme à la figure 179, et de construire avec les terres qui proviennent de ces coupures un contre-

fort C dont le talus extérieur AB soit dans le plan du talus AD du projet.

Une semblable disposition doit évidemment assurer à la masse du remblai toute la stabilité désirable et la construction du contre-fort C avec l'empierrement F est tellement simple, que nous croyons toute autre explication inutile.

220. *Remblais sur un sol compressible.* — Tous les terrains sont évidemment compressibles dans le sens rigoureux du mot. Mais nous n'entendons parler ici que de ceux dont la compressibilité atteint un degré assez élevé pour devenir un obstacle à la stabilité des remblais que les terrains doivent supporter, tels sont, par exemple, les terrains tourbeux.

On sait que la tourbe est une matière qui se forme sous les eaux par l'accumulation et l'altération de diverses plantes aquatiques qui sont toujours submergées, qu'elle est compacte et homogène dans les parties inférieures des dépôts, grossière et remplie de débris visibles d'herbes dans les parties supérieures [1].

Les tourbières sont quelquefois composées de couches alternatives séparées par des lits de terre végétale ou des terrains de sédiment; elles reposent sur des dépôts d'argile, de sable ou de cailloux roulés. La tourbe se forme dans les dépressions de terrains où les eaux sont tout à fait stagnantes, où elles ne se renouvellent que fort lentement.

Les terrains tourbeux étant éminemment perméables, la grande quantité d'humidité qu'ils contiennent, lors même que la surface du sol est à sec, provient donc d'un

[1] *Dictionnaire des sciences, lettres et arts*, de M. Bouillet.

défaut de pente à partir des points inférieurs des couches déprimées au milieu desquelles ces terrains se sont formés.

Les terrains tourbeux sont non-seulement compressibles, mais encore mobiles et pour ainsi dire élastiques. Ils sont compressibles en raison de leur degré de porosité ; ils ne sont très-mobiles que parce qu'ils sont imbibés d'eau.

Il n'existe aucun moyen direct de remédier à la compressibilité des terrains naturels ; mais, d'après ce qui vient d'être dit, on rendrait les terrains tourbeux plus stables en les privant de leur excès d'humidité au moyen de travaux d'assainissement convenablement exécutés.

Ainsi dans la supposition d'un terrain tel que le représente la figure 78, s'il était possible d'établir sous le remblai et sur toute l'épaisseur de la couche BC des empierrements AD et BC (fig. 180), A'D' et B'C' (fig. 181) à une certaine distance AC″ du pied des talus, et au besoin, d'autres rigoles transversales *e f g h...m* (fig. 180, 181 et 182), le tout correspondant à des fossés profonds ou à des aqueducs servant à l'écoulement des eaux, on parviendrait ainsi, sans aucun doute, à donner au prisme ADBC une résistance convenable et la dépression de la surface AB (fig. 180) serait assez faible, dans tous les cas, pour ne pas être nuisible à la stabilité du remblai.

La construction de semblables rigoles d'assainissement n'offre pas de difficultés insurmontables; des fouilles solidement blindées pourraient être descendues jusqu'à 5 ou 6 mètres de profondeur. Les terrains tourbeux ont souvent une épaisseur beaucoup plus grande; mais un remblai qui reposerait sur un terrain asséché sur 5 ou 6 mètres de profondeur, ne devrait plus, à moins

qu'il n'atteigne une très-grande hauteur, s'affaisser considérablement, surtout si on élargit la base en donnant aux talus une inclinaison de 2 pour 1, afin de répartir sur une plus grande surface la pression exercée par sa masse entière.

Ce n'est, nous le croyons, que dans ce qu'ils ont de semblable à ce qui vient d'être dit, que réside l'efficacité des moyens employés pour l'asséchement d'un marais aux abords de Hattenhoffen (ligne de Munich à Augsbourg). Voici comment M. Perdonnet fait la description des travaux préventifs effectués :

« Renonçant à assurer la résistance du terrain de ces marais, soit par le battage d'une forêt de pieux d'une longueur de 12 à 15 mètres, ce qui eût considérablement augmenté la dépense, soit par l'emploi de fascines d'un prix également élevé et laissant craindre pour le moment où elles viendraient à pourrir des tassements considérables, le directeur des travaux fit au préalable assainir autant que possible, par des fossés d'écoulement, les parties de marais traversées; puis on pratiqua en échiquier, et avec un espacement de $0^m,876$ des trous carrés de $1^m,168$ de profondeur, ayant en bas $0^m,582$ de côté, en haut $0^m,876$. Ces trous furent remplis de terre grasse imperméable à l'eau.

« La disposition des faces inclinées des trous ayant pour effet de comprimer la terre tourbeuse des marais, on put effectuer sur cette masse rendue homogène des remblais avec un tel succès, que depuis la mise en exploitation du chemin, aucun tassement n'a eu lieu [1]. »

L'utilité des ouvrages en terres imperméables est

[1] *Traité élémentaire des chemins de fer.*

tout au moins douteuse ; car, en supposant même que les pyramides tronquées renversées P, P′, P″, P‴... (fig. 103) exercent des pressions sur les faces latérales des masses *p, p′ p″*... du terrain naturel interceptées, les pressions se transmettent en définitive verticalement suivant la surface AB (fig. 183), exactement comme dans le cas de la figure 184.

Du reste, les travaux de consolidation doivent être exécutés suivant des procédés très-variables avec les circonstances locales, et on ne peut se dissimuler que l'affermissement des terrains tourbeux ne présente de sérieuses difficultés. Nous nous sommes décidé à présenter les observations qui précèdent, seulement parce qu'elles nous paraissent rationnelles et qu'elles ont quelque rapport à des faits positifs, tels que les travaux exécutés dans les marais de Hattenhoffen, et que nous avons pu nous appuyer sur l'opinion si nettement exprimée de M. Perdonnet, qui a écrit dans le *Traité élémentaire des chemins de fer* (page 191), à propos des terrains compressibles : « Le desséchement du sol s'opère au moyen de rigoles, pierrées, aqueducs, puits absorbants, etc., etc. »

Les dépenses pour l'assainissement au moyen de rigoles profondes doivent naturellement s'élever à un chiffre très-élevé ; mais ce serait là un assez faible inconvénient, en considération de la sécurité des voies résultat de la stabilité des remblais. Ces dépenses d'ailleurs se trouveraient bien souvent compensées par celles qu'entraînent l'enfoncement des terres dans le sol, l'entretien des voies, etc.

Mais, nous le répétons, nous ne pouvons pasici répondre de l'efficacité du travail que nous proposons, car il

ne s'est pas encore trouvé, dans les différents services de consolidation qui nous ont été confiés, aucun exemple de ce genre que nous ayons pu suffisamment étudier.

221. *Remblais au-dessus d'un sous-sol glissant.* — Reprenons l'exemple de la figure 49. Les travaux de consolidation doivent être entrepris dans le but de remédier à l'insuffisance des forces qui composent la résistance au mouvement.

Nous avons vu qu'il ne peut y avoir glissement suivant EF que quand la résistance en DH, augmentée de la cohésion suivant HG et GA et du frottement suivant GH, ne forme qu'une somme inférieure au poids relatif de la masse ABCD du remblai augmentée de AGDH.

Rien n'est donc aussi simple en pareil cas de s'opposer aux causes d'éboulement que de construire un contrefort en terres pilonnées avec empierrement, comme à la figure 185 ; le talus extérieur AB se trouvant dans le plan de CB du projet, et la base BD étant disposée de manière que le contre-fort s'appuie entièrement ou en grande partie sur le terrain solide au-dessous du glacis.

Rien n'empêcherait même, à l'occasion, de former à l'avance le contre-fort avec les terres de la couche supérieur AGDH (fig. 186) et de supprimer ainsi toute surface de glissement au-dessous du remblai.

222. *Remblais argileux transportés au waggon.* — Les remblais argileux transportés à la brouette ou au tombereau, régalés par couches horizontales et à peu près régulières sur toute la largeur des profils, ne doivent être sujets, tout au plus, qu'à des éboulements superficiels sans importance, que l'on peut prévenir au moyen d'un simple semis en graine de luzerne.

Quand les terres ont été transportées au waggon, que

les remblais sont composés de parties distinctes, comme nous l'avons expliqué dans les deux chapitres précédents, il devient nécessaire de supprimer ou de s'opposer aux deux causes principales d'éboulement : l'action des eaux et les surfaces de glissement.

225. 1° *Assainissements.* — Il n'existe aucun moyen d'empêcher complétement l'infiltration des eaux de pluie ou de celles qui proviennent des dégels. Tout ce que l'on peut faire consiste à rendre aussi faible que possible l'humidité des terres.

On arrive à ce résultat en assainissant la plate-forme au moyen de chéneaux en bois (fig. 190, 191 et 192) goudronnés à l'intérieur et disposés comme aux figures 187, 188 et 189.

Les rigoles longitudinales reposent sur le noyau central, qui est toujours la partie la plus solide, parce que le tassement en est plus complet, et qu'elle est moins susceptible de se déplacer ou de se déformer. Les rigoles transversales R, R′ R″ sont distantes entre elles de 20 mètres environ (fig. 187), mais en général, elles sont plus ou moins rapprochées, de manière que l'on puisse toujours obtenir des pentes convenables pour chaque portion de rigoles longitudinales (fig. 189).

Les chéneaux se font en bois de sapin de $0^m,02$ à $0^m,03$ d'épaisseur, au moyen de trois planches assemblées et solidement clouées, de manière qu'elles ne puissent se disjoindre pendant le transport, la pose et l'empierrement. Ils sont goudronnés à l'intérieur, et autant que possible sur le chantier même, afin de les rendre complétement imperméables. Les largeurs aux extrémités dépendent de l'épaisseur des planches employées ; avec des planches de $0^m,027$, elles sont de $0^m,20$ et $0^m,14$ à

l'intérieur pour des chéneaux de 2 mètres de longueur; la largeur moyenne est de $0^m,17$.

Les chéneaux des rigoles longitudinales reposent sur un lit de mortier hydraulique (fig. 193), afin d'empêcher toute infiltration dans les remblais des eaux reçues dans les chéneaux; mais ceux des rigoles transversales sont posés sur les terres mêmes, avec recouvrement de $0^m,30$ et à $0^m,20$ environ de la surface des talus (fig. 188).

Les rigoles longitudinales sont remplies de gravier, de pierres cassées ou de cailloux passés à la claie, en ayant soin de mettre au fond les plus grosses pierres ou les plus gros cailloux. Les chéneaux des rigoles transversales sont tout simplement recouverts avec des planches de $0^m,02$ à $0^m,03$ d'épaisseur, clouées sur les planches de côté; la fouille est ensuite comblée avec les terres que l'on en avait extraites. Aux points bas des rigoles longitudinales les premiers chéneaux des rigoles transversales doivent être posés avec tout le soin possible et même fixés avec de fortes pointes aux chéneaux adjacents des rigoles longitudinales.

224. 2° *Contre-forts.*— Nous avons pu constater que les travaux d'assainissement avec rigoles en bois, disposées comme il vient d'être dit, sont un moyen très-efficace pour la consolidation des remblais; ces travaux seraient fréquemment suffisants pour arrêter des éboulements de masses, et nous ne connaissons pas de procédé équivalent pour prévenir les éboulements de surface. Cependant on ne peut, dans bien des cas, assurer l'équilibre des prismes latéraux P, P' que par l'établissement de contre-forts en terres pilonnées disposés comme à la figure 194.

Il n'y a rien à ajouter relativement à la main-d'œuvre

Digitized by Google

pour construction de contre-forts; nous ne ferions que répéter ce qui a été dit à ce sujet dans le chapitre précédent. Les filtres se font ou en moellons bruts ou en ballast ou, comme au remblai de la Villeneuve (ligne de Mulhouse), en scories des forges; mais l'emploi des moellons bruts est préférable, quand il n'est pas beaucoup plus cher. On se sert pour le pilonnage de toutes espèces de terres; mais les terrains glaiseux ne donnent des résultats certains que quand les travaux se font dans la bonne saison et par un temps convenable; l'interposition de couches ramollies par les pluies ou par l'effet de la gelée, en cours d'exécution, peut nuire considérablement à la solidité des contre-forts.

Il n'est guère possible de bien préciser les dimensions à donner aux contre-forts, car il faudrait pour cela évaluer la poussée des masses qui peuvent s'ébouler, et calculer, avec un degré suffisant d'approximation, la résistance des terres pilonnées; par conséquent, tenir compte de la hauteur des masses, de la nature des terres et de leur degré d'humidité, etc., ce qui est presque toujours impossible. Ordinairement, on accepte pour règle que la base des contre-forts est égale aux 2/3, et leur hauteur moyenne à 1/3 de la hauteur des remblais; mais cette règle est naturellement sujette à bien des modifications.

225. Lorsque les remblais reposent sur des terrains naturels inclinés, la base des contre-forts est alors disposée par redans (fig. 206), comme dans le cas à peu près analogue du numéro 219.

226. Les travaux préventifs pour la consolidation des remblais ne sont généralement entrepris que lorsque l'on a pu reconnaître d'une manière évidente les causes

d'éboulements par quelques effets faciles à constater. Ces travaux procureraient pourtant toujours de très-grands avantages, tels que la sécurité et l'économie.

227. Les travaux préventifs seraient plus faciles, plus avantageux encore, si on les faisait exécuter, même avant de commencer les remblais, lorsque l'on a d'avance la certitude que ces remblais seront faits dans des conditions très-défavorables, avec des terrains argileux très-humides, par exemple, que les transports se feront au waggon, etc., car, en pareil cas, il serait presque toujours possible de trouver, à une faible distance, pour le pilonnage, des terres de bonne qualité, sans avoir recours à de nouvelles emprises de terrains, à des emprunts ou à des surcroîts de déblai. Ainsi l'on pourrait construire, à peu de frais, des contre-forts P et P′ (fig. 195), avec des terres prises dans l'emplacement du chemin de fer et principalement dans la surface ABCD. Il serait alors facile de donner des pentes convenables aux rigoles R et R′; mais dans le cas où l'on serait forcé de faire les empierrements avec du gravier, il deviendrait nécessaire de maintenir les matières filtrantes en les renfermant sous forme de fascines dans des branches fines et flexibles de bouleau et de genêt.

2° Travaux répressifs.

228. Les travaux répressifs pour la consolidation des remblais qui se déplacent sous l'influence des causes qui ont rapport à l'inclinaison et à la compressibilité du sol ou à la nature et à la profondeur du sous-sol, doivent avoir la plus grande analogie avec les travaux pré-

ventifs qui viennent d'être indiqués pour des cas semblables. Nous ne nous occuperons donc plus que des travaux à exécuter pour la consolidation des masses partielles et distinctes qui composent les remblais argileux et qui se sont mises en mouvement sous l'influence des causes énumérées aux numéros 110, 111, 114.

Supposons donc qu'il s'agisse de consolider un remblai éboulé représenté par la figure 196.

Les dispositions à prendre sont d'une extrême simplicité et ne consistent que dans la construction d'un contre-fort en terres pilonnées ABCD (fig. 196 et 197), séparé de la masse éboulée par un empierrement AG (fig. 197). Cet empierrement, qui communique à la base avec des rigoles en briques ou en bois, permet d'employer les terres de toute nature pour le pilonnage des contre-forts; on prend ainsi presque toujours celles qui proviennent de l'éboulement même.

On pourrait bien, sans doute, rapprocher davantage le contre-fort vers l'axe des remblais en *b e f h* (fig. 196); il offrirait ainsi plus de résistance, puisque la poussée s'exercerait sous un angle *a* beaucoup plus ouvert, et que le frottement serait ainsi beaucoup plus énergique; mais le déblai des terres éboulées, pour l'emplacement de ce contre-fort, deviendrait alors plus considérable et plus difficile, et il y a, dans tous les cas, économie à adopter de préférence le profil ABCD (fig. 196), parce que le déblai des terres éboulées dans cet espace n'offre pas trop de difficultés, que l'on trouve ainsi dans ce déblai un cube équivalent à celui du contre-fort, et qu'il n'est pas d'ailleurs nécessaire de faire l'acquisition d'une nouvelle zone de terrain.

Lorsque le contre-fort est terminé, il ne reste plus

qu'à compléter le remblai ; ce que l'on peut faire en toute sécurité, après avoir coupé le talus de l'éboulement suivant les lignes EF, GH, IL (fig. 196 et 197), c'est-à-dire de manière que le complément repose sur une surface horizontale ou composée de parties horizontales, ou légèrement inclinées vers l'axe du remblai.

Le complément doit être, comme les contre-forts, mis à l'abri de l'action des eaux au moyen d'un empierrement PR (fig. 197), qui s'élève jusqu'à la plate-forme et qui correspond à des rigoles d'assainissement en bois, établies autant que possible sur la partie qui forme le noyau central du remblai, et mises en communication, par d'autres rigoles transversales avec les empierrements des contre-forts.

229. L'on conçoit aisément que l'enlèvement, à la base des remblais, d'une certaine portion des terres éboulées pour l'emplacement des contre-forts, tend à détruire l'équilibre provisoire des éboulements, ou bien à en accélérer le mouvement. Aussi ne doit-on effectuer ces déblais et construire les contre-forts que par longueurs partielles de 8 à 10 mètres tout au plus, selon la nature des terres, leur degré de consistance et la hauteur des remblais.

Nous avons l'habitude de commencer la construction des contre-forts en attaquant la base des éboulements par les extrémités, et même au milieu quand l'éboulement a plus de 40 mètres de longueur. Le déblai des deux premières fouilles est d'abord transporté à un relai de brouette au pied de l'éboulement aux points AB (fig. 198 et 199), afin que ces dépôts soient assez près des espaces DE pour n'avoir pas à compter un transport de plus de deux relais à la brouette, en tenant compte

Digitized by Google

de la hauteur, lors de la reprise pour le pilonnage.

On commence ensuite le déblai des parties H et R (fig. 199 et 200), et l'on forme de nouveaux dépôts A′ et B′ au pied de l'éboulement, de manière que le déplacement des terres ne favorise pas trop le mouvement de la masse éboulée, et l'on continue ainsi à pilonner chaque portion de contre-fort, jusqu'à ce que de C en D (fig. 198 et 200), on ait une masse continue de terres pilonnées capable d'offrir une résistance énergique et de maintenir l'équilibre du volume restant des terres éboulées, augmenté de la masse des terres à rapporter pour compléter le remblai.

230. Le complément des remblais au-dessus des contre-forts se fait avec des terres de toute espèce ; mais il est indispensable de les pilonner sérieusement par couches de $0^m,15$ à $0^m,20$ d'épaisseur, de manière qu'elles n'éprouvent ensuite que le plus faible tassement possible ; car, en ne pilonnant pas les terres, surtout si elles sont argileuses, on est plus tard obligé de relever constamment la plate-forme ; ce qui entraîne par conséquent à des travaux d'entretien difficiles et fort coûteux.

Nous terminerons ce chapitre en indiquant quelques exemples de plusieurs remblais consolidés dans des circonstances très-différentes.

1° Remblai de la Villeneuve (fig. 201).

231. L'éboulement se composait de terres argileuses très-molles et douées d'une ténacité telle, que l'emploi de la pioche et de la pelle était presque impos-

siblé. Le déblai et le transport des terres se sont faits presque totalement à la main. L'éboulement a été consolidé néanmoins dans l'espace de huit jours. Le filtre a été fait avec des escarbilles des forges de la Villeneuve.

2° **Remblai des Couveaux** (fig. 202).

232. Terrains mélangés d'argile et de sable très-humides. Les contre-forts ont été faits avec les terres éboulées, mélangées avec celles que l'on a déblayées au pied du remblai dans la zone d'acquisition. Les filtres ont été construits avec des moellons bruts et du ballast. Les travaux de consolidation n'ont duré que soixante-cinq jours et n'ont jamais empêché la circulation des trains.

3° **Remblai de Vendeuvre** (fig. 203).

233. Terres argileuses très-glissantes. Le principal éboulement ayant 70 mètres de longueur a été consolidé en huit jours, et les travaux de consolidation ont ainsi permis d'exploiter la ligne à l'époque prescrite. Empierrements en moellons bruts.

Le complément d'une grande partie du talus côté gauche a été fait avec des terres argileuses en mottes et par un temps sec. Ces terres, amenées au waggon dans l'entrevoie, devaient être enlevées rapidement à la brouette et transportées par-dessus la voie exploitée

Digitized by Google

pour ne pas nuire à la marche des trains, de sorte que les terres de ce complément n'ont pas été pilonnées. Mais il s'est produit plus tard des tassements considérables qui, sans nuire à la solidité du remblai, ont été la cause de travaux d'entretien assez coûteux après le premier hiver.

4° Remblai de Malbouhans (fig. 204).

234. Terrain argileux. Deux éboulements considérables, dont le premier a empêché la circulation des trains pendant quatre heures. Filtres en ballast et en moellons bruts. D'autres éboulements consolidés avec contre-forts construits vers moitié de la hauteur des talus. Assainissement de la plate-forme au moyen de chéneaux en bois de sapin goudronnés.

5° Remblai du Rheiner (fig. 205).

235. Terrains argileux transportés au waggon pendant l'hiver. Tassements considérables. Complément du talus côté gauche et consolidation de quelques éboulements du côté droit.

Assainissement de la plate-forme au moyen de chéneaux en bois. Complément disposé par redans sur le terrain non désagrégé. Les terres ameublies de la surface avaient été d'abord descendues au pied du talus et pilonnées en contre-fort.

6° Remblai de la station de Ronchamp
(fig. 206 *bis* et 207).

236. Remblai sur un terrain très-incliné. Le glissement a eu lieu sur une mince couche d'argile placée sur le roc et à 0m,80 environ au-dessous de la surface du sol. Consolidé primitivement au moyen d'arcades en maçonnerie, et ensuite avec des galeries de mine remplies de moellons bruts.

Ce remblai s'est éboulé de nouveau au mois de février 1858; un des chemins d'accès de la station a été coupé par un tassement de 3m,50 de hauteur verticale; l'éboulement avançait de 4 mètres sur la route impériale. Le principal éboulement a été consolidé sur 70 mètres de longueur, avec des contre-forts en terres pilonnées provenant de l'éboulement même, et avec une murette de 1m,65 de hauteur au pied du talus, près de la route impériale. Empierrements en moellons bruts.

Le 26 décembre suivant, l'éboulement se propage vers Mulhouse et endommage le second chemin d'accès; il se produit sur la plate-forme supérieure un tassement de 0m,40 (fig. 207), qui s'étend assez près du hangar aux marchandises. Ce nouveau mouvement est promptement arrêté par des travaux d'assainissement avec rigoles en bois. Le talus inférieur a été ensuite perreyé pour empêcher les dégradations superficielles sur un terrain très-friable.

Digitized by Google

7° Remblai de la Largue (fig. 208).

237. Lehms provenant des tranchées de Retzwiller et du cimetière de Dannemarie. Remblais transportés au waggon, successivement assainis au moyen de :

Un drainage du sol naturel;

Rigoles transversales garnies de briques;

Rigoles transversales garnies de fascines;

Galeries de mine remplies de briques.

Les travaux exécutés enfin pendant l'hiver, du 25 novembre 1858 au 31 août 1859, se composent :

1° D'empierrements avec chéneaux en bois, pour l'assainissement de la plate-forme;

2° De contre-forts en terres pilonnées, séparés du remblai par des empierrements en moellons bruts, briquaillons et gravier;

3° De semis en graine de luzerne.

Du mois d'août 1859 au mois de mars 1860, les travaux d'entretien ne se sont élevés, malgré la rigueur excessive de l'hiver, qu'à la somme moyenne de 7 centimes par mètre carré.

On n'a eu à réparer que quelques dégradations superficielles (environ 150 mètres de talus) dans les endroits où les semis, commencés trop tard, n'ont pas pu donner assez de végétation pour préserver un peu les terres contre l'influence des gelées.

8° Remblai du Rosbaekel (fig. 209).

238. Terres argileuses de la tranchée n° 15, mélangées de lehm et de sable.

Remblai assaini d'abord :

1° Par un drainage du sol naturel ;

2° Par des coupures transversales remplies de terres pilonnées ;

3° Par des fascinages sur le terrain naturel ;

4° Par des galeries de mines remplies de briques ou de moellons.

Les travaux de consolidation définitifs commencés le 24 décembre 1858 et terminés le 1er juin 1859 sont les mêmes qu'au remblai de la Largue, c'est-à-dire :

1° Assainissement de la plate-forme avec chéneaux en bois goudronnés ;

2° Contre-forts en terre, avec empierrements en cailloux, moellons et bricaillons ;

3° Les semis en graine de luzerne.

Les travaux d'entretien jusqu'après l'hiver de 1859-60 ont été de 54 centimes par mètre carré, en y comprenant une somme de 3,643 fr. 41 c. dépensée pour la réparation d'une partie du contre-fort côté gauche. Ce contre-fort, construit avec des terres argileuses pendant l'hiver rigoureux de 1858-59, contenait des couches gelées que le pilonnage exécuté pendant la nuit n'avait pas pu réduire assez pour éviter un tassement ultérieur considérable. Néanmoins, ce contre-fort résista très-bien à la poussée des terres pendant quinze mois, jusqu'aux derniers jours du dégel du mois de février 1860 ; après

Digitized by Google

cinq mois de pluies continuelles, il arriva nécessairement que l'abondance des eaux intérieures, en augmentant la poussée de l'éboulement et en ramollissant davantage les couches de terres gelées et interposées du contre-fort, produisirent un mouvement de la masse éboulée, et le glissement du contre-fort sur 25 mètres de longueur. La réparation définitive a consisté à remanier la portion du contre-fort qui avait subi un mouvement, à en augmenter l'épaisseur d'un quart environ, et enfin, à soutenir le terrain naturel argileux qui avait été primitivement creusé trop près du pied du talus pour obtenir, dans un cas très-pressé, les terres nécessaires à la construction du contre-fort.

9° Remblai de Colombier (fig. 206).

238 *bis*. Terrain argileux précédemment assaini avec tuyaux de drainage. Talus de 18 mètres de hauteur, éboulé du côté gauche sur 60 mètres de longueur. — Construction d'un contre-fort en terres pilonnées.—Assainissement de la plate-forme au moyen de chéneaux en bois avec empierrements en gravier. — Empierrements en moellons entre le contre-fort et l'éboulement et entre le complément et la masse du remblai qui n'avait pas bougé.

Le plan n° 206 *bis* indique l'ensemble des rigoles d'assainissement.

TRAVAUX D'ENTRETIEN.

239. On peut affirmer sans crainte que des travaux de consolidation, tels que ceux qui viennent d'être décrits, présentent toutes les garanties possibles de durée ; à défaut du raisonnement, l'expérience de près de seize années pourrait sans doute en donner des preuves suffisantes.

Mais il est facile de concevoir que les différents ouvrages, terrasses, maçonneries, etc., de notre système doivent être surveillés avec soin, pendant une année au moins ; car les terres éprouvent toujours un tassement assez considérable, même après le pilonnage, et dans les maçonneries pour travaux d'assainissement, on ne peut répondre d'avance de la bonne qualité de tous les matériaux et de la parfaite organisation du travail. Il est donc essentiel de ne considérer les travaux de consolidation comme définitifs qu'après une année environ, ou tout au moins qu'après le premier hiver ; de réparer au fur et à mesure qu'elles se manifestent, pendant cette période de quelques mois, les dégradations qui résultent de la nature des matériaux, de la manière dont le travail a été exécuté ; et de prévenir celles que pourrait causer le tassement des terres et le déplacement de certains ouvrages d'assainissement, qui en est quelquefois la suite.

Les travaux d'entretien ont donc pour objet de compléter, de perfectionner les ouvrages déjà exécutés et, par conséquent, ils sont dirigés d'après les mêmes prin-

cipes que les travaux de construction proprement dits, décrits précédemment. Nous nous contenterons donc d'en indiquer quelques-uns; mais nous ferons observer en même temps que le succès des travaux de consolidation dépend quelquefois des travaux d'entretien, que l'on ne doit confier, par conséquent, qu'à des ouvriers actifs et intelligents.

Tranchées.

240. Les différents travaux pour l'entretien des talus consolidés sont principalement dans les tranchées :

1° *Le nettoyage des banquettes.* — Les eaux de pluie, en passant sur les talus, amènent presque toujours sur les banquettes une certaine quantité de terres qui, dans la première année, peut être assez grande pour s'opposer à l'écoulement des eaux vers les cuvettes. Alors il y a lieu de craindre que ces eaux ne s'introduisent entre le terrain naturel et les terres pilonnées, ou qu'elles ne dégradent les revêtements en passant avec abondance sur les talus inférieurs.

Pendant les pluies, les terres désagrégées sont déposées sur le bord des banquettes, rejetées ensuite sur les talus, et régalées sur une large surface. Les banquettes sont fréquemment damées, surtout quelques jours après les pluies, afin que, sans nuire à la végétation, le gazon devienne de plus en plus compacte et imperméable.

241. 2° *Enlever les neiges sur les talus au moment des dégels.*— On sait que la neige préserve les terres contre les gelées; il est donc quelquefois prudent de la laisser

sur les talus jusqu'à ce que l'on soit à peu près certain que le dégel est imminent. Mais quand les neiges ont commencé à tomber, lorsque la terre était déjà gelée à $0^m,15$ ou $0^m,20$ de profondeur, on ne risque rien en les faisant descendre avant les dégels; mais alors ce travail n'est plus tout à fait aussi nécessaire que dans le cas précédent.

242. 3° *Fermer les crevasses produites par le tassement ou la sécheresse.* — Le tassement des terres pilonnées ou le retrait produit par la sécheresse donnent lieu à des crevasses à mi-talus, et surtout sur les banquettes. Ces crevasses se referment quelquefois par l'effet de l'humidité, par exemple pendant les pluies douces et fines qui surviennent en été, sans que la quantité d'eau qui s'introduit dans les terres soit trop considérable; mais par les pluies abondantes de l'automne ou de la fin de l'hiver, la quantité d'eau qui passe par les crevasses est assez grande pour ramollir les terres et endommager les revêtements.

Il est donc important de fermer, à mesure qu'elles se produisent, les crevasses formées par la sécheresse ou le tassement des terres, soit en y introduisant du gazon ou des terres végétales bien divisées, soit par un simple pilonnage, si les terres ne sont pas trop sèches.

243. 4° *Briser la glace à l'orifice des caniveaux.* — Il est important, comme nous l'avons dit, de faire déboucher les caniveaux dans les contre-fossés, afin que l'écoulement des eaux ne soit pas interrompu par la formation de la glace.

Mais dans les cas où les eaux sont peu abondantes dans les contre-fossés ou que la gelée est assez intense pour atteindre jusqu'à l'orifice des caniveaux, il est urgent de

briser de temps en temps, au besoin, la glace qui s'opposerait à l'écoulement des eaux, en les forçant à se répandre dans les terres pilonnées des revêtements.

244. 5° *Semer de nouveau dans les endroits où le premier semis n'a pas réussi.* — Les surfaces partielles où il ne s'est pas développé une végétation assez abondante au bout d'un mois ou deux, parce que le terrain n'était pas suffisamment ameubli, ou parce que la pluie ou le vent ont enlevé les graines avant qu'elles fussent germées, sont facilement ensemencées de nouveau d'après les principes ordinaires; dans ce cas, on se sert aussi avec assez d'avantage de râteaux à main, ayant deux ou trois dents en fer; les graines sont déposées dans des trous nombreux pratiqués avec cet instrument, et recouvertes ensuite de terres végétales bien divisées et suffisamment humides.

245. 6° *Rejointoyer les cuvettes.* — Le mortier des cuvettes construites en mauvaise saison ou peu de temps avant les grandes pluies est souvent entraîné par le mouvement des eaux, avant d'avoir pris une consistance convenable. De là, la nécessité de rejointoyer les cuvettes aussi souvent que cela est nécessaire, afin d'empêcher que les eaux ne s'introduisent entre le terrain naturel et les terres pilonnées, en passant dans les joints de la maçonnerie.

246. 7° Il est assez rare que les caniveaux donnent lieu à des réparations. Cela arrive pourtant quelquefois, quand l'empierrement est fait avec des matières filtrantes que l'on n'a pas suffisamment lavées ou nettoyées. L'engorgement de la rigole en briques n'a presque jamais lieu autrement.

Dans ce cas, l'écoulement des eaux intérieures se fait

facilement remarquer par une humidité extraordinaire des revêtements en hiver; pendant l'été, l'humidité qui se répand dans les terres pilonnées se manifeste à la surface des revêtements par la couleur plus foncée que prennent les terres au contact de l'eau.

Remblais.

247. Les travaux pour l'entretien des talus de remblais consolidés sont moins compliqués. Ils consistent uniquement à fermer, à mesure qu'elles se produisent, les crevasses résultant du tassement des terres, à surveiller l'écoulement des eaux dans les rigoles pour l'assainissement de la plate-forme, et à compléter les semis.

On obtient, au moyen de rigoles, pour l'assainissement de la plate-forme, d'excellents résultats quand ces rigoles sont convenablement établies, c'est-à-dire quand elles ont une pente suffisante et quand elles communiquent bien avec les rigoles transversales. Dans le cas contraire, elles ne serviraient qu'à aggraver le mauvais état des remblais.

Ce qu'il faut surveiller surtout, c'est la jonction des rigoles longitudinales avec les rigoles transversales, parce que le tassement des terres peut quelquefois déplacer les premiers chéneaux des rigoles rampantes. La surveillance pourrait être bien simplifiée si l'on recouvrait, pendant la première année, la jonction des rigoles différentes avec de la paille, ou mieux avec une fascine recouverte elle-même d'un gazon au niveau de la plate-forme.

CHAPITRE VII.

DÉPENSES.

---

248. Le prix de revient des travaux de consolidation dépend principalement des saisons et de la nature des terres ; il varie encore suivant les localités, à cause de la différence des prix pour l'achat et le transport des matériaux. Le salaire des ouvriers est aussi très-variable ; mais nous avons pu nous convaincre que, dans toutes espèces de travaux, les dépenses de main-d'œuvre ne sont pas toujours en rapport direct avec le prix de la journée des ouvriers, et, que presque partout, le salaire est proportionné au travail effectué ; il nous est même démontré que l'ouvrier s'intéresse plus qu'on ne paraît généralement le penser au travail qu'on lui confie ; qu'il est consciencieux, et qu'il devient habile, quand il peut compter sur un salaire juste et suffisant.

Nous donnerons plus loin les résultats obtenus dans la quatrième et la sixième division de la ligne de Mulhouse, c'est-à-dire dans les parties comprises entre Troyes et Chaumont, la Côte et Fontenelle, avec les remblais de la Largue et du Rosbaekel (près Dannemarie) ; mais nous

croyons que l'on trouvera aussi quelque intérêt dans les articles suivants, où nous indiquons les prix de revient des talus dans les circonstances les plus ordinaires.

TRANCHÉES.

—

Assainissements.

1° Caniveaux, matériaux.

249. *Briques spéciales.* — Le millier de briques spéciales coûte, en moyenne, 30 francs pour fourniture et transport. Ces briques ayant $0^m,25$ de longueur, il en faut douze pour la maçonnerie d'un mètre courant de rigoles.

Soit par mètre courant de caniveaux $\frac{30 \times 12}{1000} = 0^f36$.

250. *Briques ordinaires.* — Avec des briques ordinaires de $0^m,22$ de longueur, $0^m,12$ de largeur et $0^m,05$ d'épaisseur, le prix étant de 35 francs le mille, la fourniture et le transport reviennent, par mètre courant de caniveaux, à $\frac{35 \times 14}{1000} = 0^f,49$.

251. *Briques creuses.* — Les briques creuses peuvent valoir 186 fr. 90 c., avec un transport de 30 à 35 kilomètres. Ces briques ayant $0^m,30$ de longueur, c'est par mètre courant de caniveaux $\frac{3 \times 186^f,90}{1000} = 0^f,56$.

Digitized by Google

252. *Mortier.* — En supposant que le prix d'un mètre cube de chaux égale 22 francs, celui du sable 7 fr. 50 c., 1 mètre cube de mortier reviendrait à 17 francs, main-d'œuvre comprise.

Or, il faut $0^m,011$ de mortier pour maçonnerie d'un mètre courant de rigoles avec briques spéciales : ce qui porte la dépense, pour 1 mètre courant de caniveaux, à $0^m,011 \times 17^f,00 = 0^f,187$.

La quantité de mortier est la même avec les briques creuses, comme nous avons pu le constater ; mais il convient de l'augmenter de 1/4 en moyenne, quand il s'agit des briques ordinaires de $0,22 \times 0,12 \times 0,05$, et la dépense devient alors $0,014 \times 17^f = 0,238$.

253. *Matières filtrantes.* — Il faut, en moyenne, $0^m,023$ de matières filtrantes par mètre courant de rigoles.

C'est donc par mètre courant de caniveaux :

1° avec pierres cassées..	$0,023 \times 6^f,00 = 0^f,138$
2° avec cailloux. . . .	$0,023 \times 5^f,00 = 0^f,115$

254. *Gazon.* — La dépense pour recouvrement des rigoles peut être évaluée comme il suit, la surface étant de $0^m,50$ par mètre courant.

Indemnité pour terrain dégazonné, le mètre carré.	$0^f,10$
Extraction, transport et pose de gazon, le m. carré.	$0^f,50$
Total pour un mètre carré.	$0^f,60$
Et par mètre courant de caniveaux.	$0^f,30$

Les recouvrements avec paillassons coûtent, comme nous l'avons dit numéro 202, 20 centimes le mètre carré, soit, par mètre courant de caniveaux, 10 centimes.

255. *Main-d'œuvre.*

PRIX PAYÉS A LA TACHE.

Déblai et règlement de la rigole, le mètre courant. .	0f,07
Maçonneries de briques spéciales.	0f,18

Le transport des terres provenant du déblai des rigoles vaut, en moyenne, 1 franc le mètre cube, soit, par mètre courant de caniveaux, $1^f,00 \times 0,10 = 0^f,10$.

Le transport et la pose des matières perméables peuvent être évalués à 2 fr. 60 c. par mètre cube ou par mètre courant de caniveaux, à $2^f,60 \times 0,023 = 0^f,06$.

Quand le gazon est remplacé par des paillassons, la main-d'œuvre, pour transport et pose, revient à environ 0f,01.

256. Le prix de revient total d'un mètre courant de caniveaux se compose comme il suit :

1° Avec briques spéciales :

MATÉRIAUX.	
Briques.	0f,360
Mortier hydraulique.	0 ,187
Pierres cassées..	0 ,138
MAIN-D'OEUVRE.	
Déblai et règlement de rigoles.	0f,070
Transport des terres provenant de la fouille. . . .	0 ,100
Maçonnerie..	0 ,130
Transport et pose des pierres cassées.	0 ,060
Transport et pose du gazon	0 ,300
Total.	1f,345

Il diminue de 0f,05 quand il y a lieu de déduire l'in-

demnité de terrain dégazonné, et de 0f,105 quand on remplace le gazon par des paillassons.

Le prix de revient diminue encore de 0f,013 environ, quand on emploie des cailloux ou du gravier au lieu de pierres cassées.

257. 2° Avec briques ordinaires :

MATÉRIAUX.	
Briques	0f,490
Mortier hydraulique	0 ,238
Pierres cassées	0 ,138
MAIN-D'OEUVRE.	
Déblai et règlement des rigoles	0f,077
Transport des terres provenant de la fouille	0 ,110
Maçonnerie	0 ,143
Transport et pose de pierres cassées	0 ,066
Transport et pose du gazon	0 ,330
Total	1f,592

sauf déductions comme à l'article précédent.

Différence de la pierre cassée et du gravier.

Différence du gazon et des paillassons.

258. 3° Avec briques creuses :

MATÉRIAUX.	
Briques	0f,560
Mortier hydraulique	0 ,187
Pierres cassées	0 ,138
MAIN-D'OEUVRE.	
Déblai et règlement des rigoles	0f,070
Transport des terres provenant de la fouille	0 ,100
Maçonnerie	0 ,130
Transport et pose de pierres cassées	0 ,060
Transport et pose du gazon	0 ,300
Total	1f,545

Les déductions sont les mêmes qu'au numéro 256, lorsque le prix du gazon ne comprend pas d'indemnité de terrain, et quand on remplace la pierre cassée par des cailloux ou du gravier et le gazon par des paillassons.

259. *Filtres de contre-forts.* — 1° Rigole :

Fourniture de chéneaux.	0f,80
Fourniture de pierres cassées	0 ,10
Déblai et règlement de la rigole, pose des chéneaux et empierrement.	0 ,70
Prix du mètre courant.	1f,60

2° Empierrement entre les contre-forts et le terrain naturel ou les terres éboulées.

Le mètre cube :

Fourniture de moellons bruts.	6f,00
Pose	2 ,00
Total.	8f,00

2° Revêtements.

260. *Pilonnage.* — Fouille des terres ou reprise. — Transport à deux jets de pelle ou à un relai de brouette. — Régalage. — Pilonnage et règlement.

Prix du mètre carré payé à la tâche, 60 centimes.

261. *Banquettes :*

Règlement à la pioche, le mètre carré.	0f,05
Gazonnement à plat, le mètre carré.	0 ,50
Prix.	0f,55

262. *Cuvettes en moellons smillés :*

Fourniture de moellons, le mètre cube de maçonnerie.	6f,60
Fourniture de mortier, par mètre cube de maçonnerie,	3 ,40
Main-d'œuvre, le mètre cube.	6 ,50
Total.	15f,90

263. *Cuvettes en gazon par assises :*

Fourniture de gazon.	0f,41
Main-d'œuvre.	0 ,90
Prix du mètre carré..	1f,31

264. *Perrés :*

Fourniture de moellons..	6f,00
Main-d'œuvre	3 ,00
Prix du mètre cube.	9 ,00

265. *Semis :*

Semis en graine de foin et de luzerne, le mètre carré. 0f,03

266. *Contre-forts :*

Régalage par couches de 0m,15..	0f,10
Pilonnage et règlement des talus.	0 ,30
Prix du mètre cube..	0f,40

267. Les autres mains-d'œuvre, telles que déblai ou reprises et transports, se payent comme des travaux de terrassements ordinaires.

Remblais.

268. Le prix des différents ouvrages pour travaux de consolidation des remblais sont à peu près les mêmes que pour ceux qui viennent d'être indiqués pour :

Rigoles d'assainissement ;

Empierrements ;

Construction de contre-forts.

Nous ferons remarquer, en terminant ce chapitre, qu'il convient d'augmenter de 1/10 à peu près les prix ci-dessus pour faux frais et fournitures diverses, telles que fourniture et entretien du matériel, fourniture de lattes de profils, etc.

269. Quant au prix de revient des travaux de consolidation par mètre carré de talus, soit de tranchées, soit de remblais, il sera toujours facile de le déterminer assez approximativement quand on connaîtra :

1° L'espèce de briques ;

2° La distance du transport des terres du pilonnage ;

3° La largeur des banquettes ;

4° La distance entre les cuvettes ;

5° Le profil des perrés ;

6° Et enfin les dimensions des contre-forts.

Digitized by Google

Digitized by Google

PRIX DE REVIENT

DES TRAVAUX DE CONSOLIDATION

EXÉCUTÉS SUR LA LIGNE DE MULHOUSE.

Digitized by Google

Digitized by Google

TRANCHÉES.

	QUANTITÉS de chaque ouvrage.	SURFACES de talus consolidés	SOMMES partielles.	SOMMES totales par ouvrage.	PRIX MOYENS par ouvrage.	PRIX MOYENS par mètre carré de talus consolidé.
270. Tranchée de Courteranges.						
1° ASSAINISSEMENTS.						
Caniveaux.						
Matériaux............	»	»	1349 31	»	»	»
Main-d'œuvre	»	»	250 00	»	»	»
	833^{m},00			1599 31	1 92	
2° REVÊTEMENT.						
1° *Pilonnage.*						
Fournitures diverses...	»	»	139 35	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	3191 16	»	»	»
	5104$^{m^2}$,00			3330 51	0 65	
2° *Cuvettes.*						
Matériaux.....	»	»	17 93	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	16 00	»	»	»
	3^{m},00			33 93	11 31	
3° *Murettes.*						
Matériaux.............	»	»	148 41	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	184 00	»	»	»
	36^{m},00			332 41	9 23	
3° SEMIS.						
Fournitures diverses...		»	40 00	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	102 08	»	»	»
	5104^{mq},00			142 08	0 03	
		5104^{mq},00		5438 24		1 06
271. Tranchée de Montiéramey.						
1° ASSAINISSEMENTS.						
Caniveaux.						
Matériaux..............	»	»	775 99	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	147 00	»	»	»
	420^{m},00			922 99	2 20	
2° REVÊTEMENT.						
1° *Pilonnage*........	7125^{mq},00	»	»	9358 81	1 31	»
A reporter...	....	....	....	10281 80		

	QUANTITÉS de chaque ouvrage.	SURFACES de talus consolidés	SOMMES partielles.	SOMMES totales par ouvrage.	PRIX MOYENS par ouvrage.	PRIX MOYENS par mètre carré de talus consolidé.
Report...	....	....	....	10281 80		
2° *Cuvettes.*						
Matériaux.............	»	»	80 26	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	99 84	»	»	»
	19m,20			180 10	9 38	
3° *Perrés.*						
Matériaux..............	»	»	106 36	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	888 94	»	»	»
	227m,50			995 30	4 37	
		7125mq,00		11457 20		1 61

272. Tranchée de Briel.

1° ASSAINISSEMENTS.						
Caniveaux.						
Matériaux............	»	»	8672 83	»	»	»
Fournitures diverses...	»	»	865 17	»	»	»
Locations diverses.....	»	»	17 45	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	5471 03	»	»	»
Transport du déblai des caniveaux...........	»	»	1486 65	»	»	»
	12195m,00			16513 13	1 35	
2° REVÊTEMENT.						
1° *Pilonnage.*						
Fournitures diverses...	»	»	484 20	»	»	»
Locations diverses.....	»	»	90 82	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	29145 57	»	»	»
	29464mq,00			29720 59	1 00	
2° *Cuvettes en maçonnerie*						
Matériaux.............	»	»	1313 73	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	564 77	»	»	»
	108m,61			1878 50	17 29	
3° *Banquettes*...........	60m,00	»		30 00	0 50	»
3° SEMIS.						
Fournitures diverses...	»	»	40 00	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	599 10	»	»	»
	29027mq,00			639 10	0 02	
A reporter...	....	....	....	48781 32		

	QUANTITÉS de chaque ouvrage.	SURFACES de talus consolidés	SOMMES partielles.	totales par ouvrage.	PRIX MOYENS par ouvrage.	par mètre carré de talus consolidé.
Report...	....	....	....	48781 32		
4° DRAINAGE.						
Matériaux...............	»	»	321 55	»	»	»
Main-d'œuvre.........	»	»	2564 90	»	»	»
	1963mc,00			2886 45	1 46	
		31427mq,00		51667 77		1 64

273. Tranchée de la Villeneuve.

1° ASSAINISSEMENTS.						
Caniveaux.						
Matériaux..............	»	»	5240 33	»	»	»
Fournitures diverses...	»	»	93 54	»	»	»
Transport du déblai des caniveaux...........	»	»	226 18	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	4270 03	»	»	»
	5298m,50			9830 08	1 85	
2° REVÊTEMENT.						
1° *Pilonnage.*						
Fournitures diverses...	»	»	444 76	»	»	»
Locations diverses.....	»	»	15 80	»	»	»
Main-d'œuvre.........	»	»	13977 23	»	»	»
	19573mc,00			14437 79	0 73	
2° *Cuvettes en maçonnerie*						
Matériaux..............	»	»	1500 55	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	1098 45	»	»	»
	122m,05			2599 00	21 29	
3° *Banquettes*..........	1818m,52	»		909 01	0 50	»
3° SEMIS.						
Fournitures diverses...	»	»	40 00	»	»	»
Main-d'œuvre.........	»	»	391 34	»	»	»
	19567mq,00			431 34	0 02	
		19573mq,00		28207 22		1 44

Digitized by Google

	QUANTITÉS de chaque ouvrage.	SURFACES de talus consolidés	SOMMES partielles.	SOMMES totales par ouvrage.	PRIX MOYENS par ouvrage.	PRIX MOYENS par mètre carré de talus consolidé.
274. Tranchée de la Vinoterie.						
1° ASSAINISSEMENTS.						
Caniveaux.						
Matériaux.............	»	»	12660 91	»	»	»
Fournitures diverses...	»	»	673 91	»	»	»
Transport du déblai des caniveaux..........	»	»	957 53	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	10519 30	»	»	»
	10496m,00			24814 65	2 36	
2° REVÊTEMENT.						
1° *Pilonnage.*						
Fournitures diverses...	»	»	899 20	»	»	»
Locations diverses.....	»	»	74 34	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	20151 91	»	»	»
	20407mq,00			21125 75	1 03	
2° *Cuvettes en maçonnerie*						
Matériaux..............	»	»	1107 34	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	859 14	»	»	»
	95m,46			1966 48	20 60	
3° *Banquettes*...........	1657mq,60	»		1152 83	0 69	»
4° *Perrés.*						
Matériaux..............	»	»	88 83	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	2275 67	»	»	»
	770m,00			2364 50	3 07	
3° SEMIS........	7201mq,00	»		144 02	0 02	»
		20407mq,00		51568 23		2 53
275. Tranchée de Vendeuvre.						
1° ASSAINISSEMENTS.						
Caniveaux.						
Matériaux.............	»	»	8194 17	»	»	»
Fournitures diverses...	»	»	186 98	»	»	»
Locations diverses.....	»	»	1 54	»	»	»
Transport du déblai des caniveaux..........	»	»	540 96	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	5755 90	»	»	»
	7853m,00			14679 55	1 87	
A reporter...	....	....	....	14679 55		

Digitized by Google

	QUANTITÉS de chaque ouvrage.	SURFACES de talus consolidés	SOMMES partielles.	SOMMES totales par ouvrage.	PRIX MOYENS par ouvrage.	PRIX MOYENS par mètre carré de talus consolidé.
Report...	....	....	....	14679 55	1 87	
2° REVÊTEMENT.						
1° *Pilonnage.*						
Fournitures diverses...	»	»	178 37	»	»	»
Locations diverses.....	»	»	14 95	»	»	»
Main-d'œuvre.........	»	»	11066 25		»	»
	13078mc,00			11259 57	0 86	
2° *Cuvettes en maçonnerie*						
Materiaux..............	»	»	352 07	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	704 07	»	»	»
	78mc,23			1056 14	13 50	
3° SEMIS........	1855mq,00	»		55 65	0 03	»
		13078mq.00		27050 91		2 06

276. Tranchée de la Montagne.

1° ASSAINISSEMENTS.						
Caniveaux.						
Matériaux..............	»	»	2459 41	»	»	»
Fournitures diverses...	»	»	36 94	»	»	»
Locations diverses.....	»	»	31 67	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	4336 53	»	»	»
	931m,00			6864 55	7 37	
2° REVÊTEMENT.						
1° *Pilonnage.*						
Fournitures diverses...	»	»	78 30	»	»	»
Locations diverses.....	»	»	28 68	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	5560 25	»	»	»
	6476m^2,00			5667 23	0 87	
2° *Cuvettes en maçonnerie*						
Matériaux..............	»	»	231 79	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	190 95	»	»	»
	19mc,60			422 74	21 56	
3° *Banquettes.*	237mq,60	»		178 20	0 75	
		6476m^2,00		13132 72		2 02

Digitized by Google

	QUANTITÉS de chaque ouvrage.	SURFACES de talus consolidés	SOMMES partielles.	SOMMES totales par ouvrage.	PRIX MOYENS par ouvrage.	PRIX MOYENS par mètre carré de talus consolidé.
277. Emprunt de la station de Bricon.						
1° CONSOLIDATION DE L'ÉBOULEMENT.						
1° *Déblai de terres éboulées*.............	$531^{mc},00$	»	»	330 60	0 62	»
2° *Pilonnage pour construction de contre-forts.*						
Fournitures diverses...	»	»	15 60	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	1262 20	»	»	»
	$1577^{mq},75$			1277 80	0 80	
3° *Construction d'un mur en pierre sèche entre le contre-fort et l'éboulement.*						
Matériaux.............	»	»	446 85	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	472 09	»	»	»
	$111^{mc},72$			918 94	8 22	
2° RÈGLEMENT DE TALUS.	$1823^{mq},00$	»		91 15	0 05	»
3° RÉPANDAGE DE TERRE VÉGÉTALE ET SEMIS.						
Fournitures diverses...	»	»	20 00	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	127 61	»	»	»
	$1823^{mq},00$			147 61	0 08	
	»	$1823^{mq},00$		2766 10		1 52
278. Tranchée de la Voivre.						
1° CONSOLIDATION DE L'ÉBOULEMENT.						
1° *Déblai d'éboulements.*	$1399^{mc},80$	»	»	839 88	0 60	»
2° *Construction de contre-forts.*						
Fournitures diverses...	»	»	282 30	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	3404 69	»	»	»
	$3478^{mc},00$			3686 99	1 06	»
A reporter...	....	....	....	4526 87		

	QUANTITÉS de chaque ouvrage.	SURFACES de talus consolidés	SOMMES partielles.	SOMMES totales par ouvrage.	PRIX MOYENS par ouvrage.	PRIX MOYENS par mètre carré de talus consolidé.
Report...	....	....	....	4526 97		
3° *Construction d'un mur en pierre sèche entre le contre-fort et l'éboulement.*						
Matériaux.............	»	»	412 55	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	627 07	»	»	»
	165mc,02			1039 62	6 30	»
4° *Construction d'un fossé maçonné au pourtour de l'éboulement.*						
Matériaux	»	»	918 63	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	659 71	»	»	»
	122mc,28			1578 34	12 90	»
5° *Règlement des terrains éboulés.*	16500mq,00	»	»	825 00	0 05	»
2° ASSAINISSEMENT DE LA PLATE-FORME.						
Matériaux.............	»	»	485 60	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	100 00	»	»	»
				585 60	»	»
		555m²,00		8555 43		15 41

279. Tranchée de la Côte.

1° ASSAINISSEMENTS.						
Coniveaux.						
Matériaux.......	»	»	2883 67	»	»	»
Fournitures diverses...	»	»	47 50	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	915 60	»	»	»
	5244m,00			3846 77	0 73	»
2° REVÊTEMENT.						
1° *Déblai d'éboulements.*	702mc,37	»	»	540 64	0 77	»
2° *Pilonnage.*						
Fournitures diverses...	»	»	417 32	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	5081 15	»	»	»
	7404mq,71			5498 47	0 74	»
A reporter...	....	....	....	9885 88		

	QUANTITÉS de chaque ouvrage.	SURFACES de talus consolidés	SOMMES partielles.	SOMMES totales par ouvrage.	PRIX MOYENS par ouvrages,	PRIX MOYENS par mètre carré de talus consolidé.
Report...	....	....	....	9885 88		
3° *Perrés.*						
Matériaux..............	»	»	4361 89	»	»	»
Fournitures diverses...	»	»	19 60	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	2737 63	»	»	»
	1694m,00			7119 12	4 20	
4° *Cuvettes en maçonnerie*						
Matériaux..............	»	»	137 30	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	161 49	»	»	»
	88m,97			298 79	3 56	
5° *Semis.*						
Fournitures diverses...	»	»	92 50	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	122 67	»	»	»
	6751mq,27			215 17	0 03	
6° *Règlement de talus.*	6654mq,06	»		332 70	0 05	»
7° *Banquettes.*	436mq,00			408 00	0 93	»
		14840m²,68		18259 66		1 23

280. Tranchée de Grattery.

1° ASSAINISSEMENTS.						
Caniveaux.						
Matériaux..............	»	»	1261 94	»	»	»
Fournitures diverses...	»	»	32 50	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	1043 81	»	»	»
	1933m,33			2338 25	1 20	
2° REVÊTEMENT.						
1° *Déblai d'éboulements.*						
Fournitures diverses...	»	»	91 50	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	1785 39	»	»	»
	879mc,11			1876 89	2 14	
2° *Pilonnage.*						
Fournitures diverses...	»	»	199 20	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	4277 99	»	»	»
	6348mq,31			4477 19	0 70	
3° *Perrés.*						
Matériaux..............	»	»	5131 77	»	»	»
Fournitures diverses..	»	»	11 20	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	3555 40	»	»	»
	1490m,50			8698 37	5 83	
A reporter...	....	....	....	17390 70		

	QUANTITÉS de chaque ouvrage.	SURFACES de talus consolidés	SOMMES partielles.	SOMMES totales par ouvrage.	PRIX MOYENS par ouvrage.	PRIX MOYENS par mètre carré de talus consolidé.
Report...	....	....	....	17390 70		
4° *Cuvettes.*						
Matériaux............	»	»	240 45	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	128 21	»	»	»
	90m,46			368 66	4 07	»
5° *Banquettes*..........	627mq,20	»	»	385 56	0 61	»
6° *Revêtement de talus en gazon par assises*...	368mq,48	»	»	368 48	1 00	»
7° *Réglement de talus à la pioche*..........	7133mq,71	»	»	356 86	0 05	»
8° *Semis.*						
Fournitures diverses...	»	»	70 50	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	111 94	»	»	»
	6348mq,31			182 44	0 03	»
		13761mq,90		19052 70		1 38

281. Tranchées de Bonchamp.

1° DÉBLAI SUPPLÉMENTAIRE..............	12122m³83	»	»	15026 47	1 25	»
2° DÉBLAI D'ÉBOULEMENTS..............	»	»	»	1254 57	»	»
3° ASSAINISSEMENTS.						
Caniveaux et filtres (y compris le déblai et le recouvrement du filtre en gazon).						
Matériaux..............	»	»	3109 96	»	»	»
Fournitures diverses...	»	»	223 00	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	5602 35	»	»	»
	9984mq,74			8935 31	0 89	»
4° REVÊTEMENT.						
1° *Pilonnage*............	1015mq.45	»	»	950 47	0 94	»
2° *Répandage*............	9984mq,74	»	»	1996 93	0 20	»
3° *Perrés.*						
Matériaux..............	»	»	3931 44	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	3346 57	»	»	»
	685mc,25			7278 01	10 62	»
4° *Cuvettes en maçonnerie*						
Matériaux..............	»	»	670 87	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	306 50	»	»	»
	48mc,21			977 37	20 27	»
A reporter...	....	....	....	36419 13		

	QUANTITÉS de chaque ouvrage.	SURFACES de talus consolidés	SOMMES partielles.	SOMMES totales par ouvrage.	PRIX MOYENS par ouvrage.	PRIX MOYENS par mètre carre de talus consolidé.
Report...	....	....	....	36419 13		
5° *Banquettes.*						
Fournitures diverses...	»	»	125 80	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	1356 38	»	»	»
	2409mq,07			1482 18	0 61	
6° *Règlement de talus*...	9884mq,74	»		600 11	0 06	»
7° *Semis.*						
Fournitures diverses...	»	»	30 00	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	149 77	»	»	»
	9884mq,74			179 77	0 02	
		9884mq,74		38681 19		3 91
282. Tranchée du Chevannel.						
1° CONSOLIDATION DE L'ÉBOULEMENT.						
1° *Assainissements.*						
Filtres..................	169mc,77	»	»	701 81	4 13	»
2° *Contre-forts en terre.*						
Fournitures diverses...	»	»	1014 38	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	5708 68	»	»	»
	1618mc,91			6723 06	4 15	
3° *Contre-forts en maçonnerie.*						
1° Terrassements.					»	»
Fournitures diverses...	»	»	355 28	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	967 34	»	»	»
2° Maçonnerie.						
Matériaux..............	»	»	1460 80	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	1966 91	»	»	»
Fournitures diverses...	»	»	3 25	»	»	»
	433mc,95			4753 58	10 72	
2° DÉBLAI SUPPLÉMENTAIRE.					»	»
Fournitures diverses...	»	»	2430 35	»	»	
Main-d'œuvre..........	»	»	30264 40	»	»	»
	18902mc,80			32694 75	1 72	
3° DÉBLAI DU CHEMIN LATÉRAL.						
Fournitures diverses...	»	»	258 20	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	2595 72	»	»	»
	2389mc,81			2853 92	1 19	
A reporter...	....	....	....	47727 12		

	QUANTITÉS de chaque ouvrage.	SURFACES de talus. consolidés	SOMMES partielles.	SOMMES totales par ouvrage.	PRIX MOYENS par ouvrage.	PRIX MOYENS par mètre carré de talus consolidé.
Report...	....	....	....	47727 12		
4° DÉBLAI D'ÉBOULEMENTS.						
Fournitures diverses...	»	»	52 50	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	1358 31	»	»	»
5° REVÊTEMENT.				1410 81		
1° *Pilonnage.*						
Fournitures diverses...	»	»	4 00	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	4006 31	»	»	»
	4350mq,40			4010 31	0 92	
2° *Murs de soutènement.*						
1° Terrassements.						
Fournitures diverses...	»	»	625 75	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	2802 38	»	»	»
2° Maçonnerie.						
Matériaux..............	»	»	4833 28	»	»	»
Fournitures diverses...	»	»	12 00	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	11193 75	»	»	»
	3443mc,55			19467 16	5 65	
3° *Perrés.*						
1° Terrassements.			162 32	»	»	»
2° Maçonnerie.						
Matériaux..............	»	»	415 25	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	455 10	»	»	»
	151mc,70			1032 67	6 80	
4° *Cuvettes en maçonnerie*						
Matériaux..............	»	»	527 51	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	341 55	»	»	»
	51mc,46			869 06	16 88	
5° *Gazonnement de talus.*						
Fournitures diverses...	»	»	120 99	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	361 10	»	»	»
	533mq,89			482 09	0 90	
6° *Règlement de talus.*						
1° Règlement à la tranche.						
Fournitures diverses...	»	»	77 00	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	447 03	»	»	»
	1601mq,00			524 03	0 32	
2° Règlement à la pioche.	5016mq,00	»		106 42	0 02	»
7° *Semis.*						
Fournitures diverses...	»	»	45 75	»		
Main-d'œuvre..........	»	»	67 19	»		
	4350mq,30			112 94	0 02	
		25152mq,72		75742 61		3 01

	QUANTITÉS de chaque ouvrage.	SURFACES de talus consolidés.	SOMMES partielles.	SOMMES totales par ouvrage.	PRIX MOYENS par ouvrage.	PRIX MOYENS par mètre carré du talus consolidé.
283. Tranchée des Barres.						
1° ASSAINISSEMENTS.						
Caniveaux.						
Materiaux...............	»	»	430 11	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	240 25	»	»	»
	330m,00			670 36	2 03	
2° REVÊTEMENT.						
1° *Pilonnage*.............	1990mc,00	»	»	3759 67	1 88	»
2° *Perrés.*						
Materiaux.............	»	»	264 40	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	200 00	»	»	»
	132m,20			464 40	3 51	
3° *Cuvettes en maçonnerie*						
Materiaux.............	»	»	315 74	»	»	»
Fournitures diverses...	»	»	38 00	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	172 36	»	»	»
	71m,80			526 10	7 32	
4° *Banquettes*...........	1076mq,00	»		538 43	0 50	»
5° *Semis.*						
Fournitures diverses...	»	»	47 50	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	51 92	»	»	»
	5192mq,25			99 42		
		5192mq,25		6058 38		1 16
284. Tranchée de Danjoutin.						
1° ASSAINISSEMENTS.						
Caniveaux.						
Materiaux...............	»	»	629 19	»	»	»
Main-d'œuvre...........	»	»	1500 00	»	»	»
	1250m,00			2129 19	1 70	
2° REVÊTEMENT.						
1° *Répandage*...........	6970mq,64	»	»	1394 13	0 20	»
2° *Perrés.*						
Matériaux..............	»	»	446 20	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	355 98	»	»	»
	539m,35			802 18	1 48	
A reporter...	....	....	4327 50	0000 00		

	QUANTITÉS de chaque ouvrage.	SURFACES de talus consolidés	SOMMES partielles.	SOMMES totales par ouvrage.	PRIX MOYENS par ouvrage.	PRIX MOYENS par mètre carré de talus consolidé.
Report...	....	....	....	4323 50		
3° *Banquettes*...........	826^{mq},58	»	»	398 29	0 48	»
4° *Semis.*						
Fournitures diverses...	»	»	65 50	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	69 70	»	»	»
	6970^{mq},64			135 20	0 02	
5° *Règlement de talus*....	6970^{mq},64	»	»	348 53	0 05	»
		6970^{mq},64		5207 62		0 74

285. Tranchée du Grivé.

1° ASSAINISSEMENTS.						
Caniveaux.						
Matériaux.............	»	»	949 15	»	»	»
Fournitures diverses...	»	»	15 00	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	1187 53	»	»	»
	1732^{m},70			2151 68	1 24	»
2° REVÊTEMENT.						
1° *Répandage de terre végétale*................	9366^{m},61	»	»	1576 61	0 16	»
2° *Perrés*...............	29^{mq},52	»	»	88 56	3 00	»
3° *Cuvettes en maçonnerie*						
Matériaux.............	»	»	236 49	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	103 64	»	»	»
	53^{m},10			340 13	6 40	»
4° *Banquettes.*						
Fournitures diverses...	»	»	45 00	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	241 35	»	»	»
	482^{mq},70			286 35	0 59	»
5° *Règlement des talus*..	9366^{mq},61	»	»	394 15	0 04	»
6° *Semis.*						
Fournitures diverses...	»	»	35 50	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	78 84	»	»	»
	9366^{mq},61			114 34	0 01	»
3° CONSOLIDATION DE L'ÉBOULEMENT.						
1° *Terrassements.*						
Contre-forts en terre.	1518^{mc},20	»	»	2444 98	1 61	»
A reporter...	....	....	....	7396 80		

	QUANTITÉS de chaque ouvrage.	SURFACES de talus consolidés	SOMMES partielles.	SOMMES totales par ouvrage.	PRIX MOYENS par ouvrage.	PRIX MOYENS par mètre carré de talus consolidés
Report...	....	....	....	7396 80		
2° *Maçonnerie.* Perrés maçonnés.						
Matériaux..............	»	»	861 90	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	342 96	»	»	»
	52^{mc},00			1204 86	23 17	
3° *Assainissements.* 1° Rigoles avec chéneaux.............	85^{m},00	»	»	59 50	0 70	»
2° Construction d'un filtre..............	98^{mc},10	»	»	196 20	2 00	»
		9366^{mq},61		8857 36		0 94

286. Tranchée de Norval.

1° ASSAINISSEMENTS.						
Caniveaux.						
Matériaux.............	»	»	751 65	»	»	»
Fournitures diverses...	»	»	62 90	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	817 23	»	»	»
2° REVÊTEMENT.	1604 10			1631 78	1 01	
1° *Pilonnage.*						
Fournitures diverses...	»	»	114 55	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	3321 53	»	»	»
	5335^{mq},86			3436 08	0 64	
2° *Perrés.*						
Matériaux.............	»	»	1485 82	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	1927 51	»	»	»
	702^{m},75			3413 33	4 85	
3° *Cuvettes en maçonnerie*						
Matériaux.............	»	»	168 09	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	92 75	»	»	»
	79^{m},80			260 84	3 29	
4° *Règlement de talus*....	1021^{mq},03	»		70 87	0 06	
5° *Banquettes.*						
Fournitures diverses...	»	»	309 12	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	627 90	»	»	»
	1146^{mq},58			937 02	0 81	
6° *Semis.*						
Fournitures diverses...	»	»	68 50	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	75 03	»	»	»
	7503^{mq},47			143 53	0 02	
		7503^{mq},47		9893 45		1 31

REMBLAIS.

	SURFACE de talus consolidés.	DÉPENSES partielles.	DÉPENSES totales par ouvrage.	Prix moyen par remblai.
287. Remblai de la Mélaine.				
1° *Construction de contre-forts*.....	»	»	920 57	»
2° *Règlement de talus* (y compris le transport des terres pour complément de remblais)...............	»	»	450 00	»
	572mq,00		1370 57	2 40
288. Remblai des Plantins.				
1° *Construction de contre-forts.*				
1° Déblai d'éboulements...........	»	337 20	«	»
2° Reprise, transport et pilonnage..	»	724 31	»	»
3° Filtre en gravier.				
Matériaux......................	»	281 54	»	»
Main-d'œuvre..................	»	100 00	»	»
			1443 05	
2° *Complément du talus et règlement*.	»		368 46	»
	1643mq,00		1811 51	1 10
289. Remblai de Briel.				
1° *Construction de contre-forts.*				
1° Déblai d'eboulements...........	»	60 00	»	»
2° Déblai de terre végétale.........	»	40 00	»	»
3° Pilonnage des terres du contre-fort	»	113 90	»	»
			213 90	
2° *Construction d'un filtre.*				
Matériaux......................	»	50 66	»	»
Main-d'œuvre..................	»	9 00	»	»
			59 66	
3° *Transport des terres pour complément*..........................	»		80 00	»
	155mq,00		353 56	2 28

Digitized by Google

	SURFACES de talus consolidés.	DÉPENSES partielles.	DÉPENSES totales par ouvrage.	prix moyen par remblai.
290. Remblai de Villeneuve.				
1° *Construction de contre-forts.*				
Fournitures diverses............	»	18 04	»	»
Main-d'œuvre..................	»	1886 00	»	»
			1904 04	»
2° *Règlement du talus du remblai....*	»	»	267 00	»
	975mq,00		2171 37	2 22
291. Remblai des Couveaux.				
1° *Construction de contre-forts.*				
Fournitures diverses............	»	723 22	»	»
Main-d'œuvre..................	»	18164 39	»	»
			18887 61	
2° *Construction d'un filtre en gravier.*				
Matériaux......................	»	4418 53	»	»
Main-d'œuvre..................	»	1570 00	»	»
			5988 53	
3° *Règlement des talus.............*	»	»	1289 01	»
4° *Répandage de terre végétale et semis.*				»
Fournitures diverses............	»	48 00	»	»
Journées d'ouvriers............	»	880 50	»	
			928 50	
5° *Transport de terres pour complément......................*	»	»	3765 81	»
6° *Rigoles d'assainissement.*				
Matériaux......................	»	347 62	»	»
Fournitures diverses............	»	77 30	»	»
Main-d'œuvre..................	»	600 00	»	»
			1024 92	»
	12890mq,00		31884 38	2 47

292. Remblai de Vendeuvre.

	Surfaces de talus consolidés.	Dépenses partielles.	Dépenses totales par ouvrage.	Prix moyen par remblai.
1° *Construction de contre-forts.*				
Fournitures diverses	»	541 24	»	»
Locations diverses	»	57 92	»	»
Main-d'œuvre	»	10223 60	»	»
			10822 76	
2° *Construction d'un filtre.*				
Matériaux	»	1299 95	»	»
Main-d'œuvre	»	1880 00	»	»
			3179 95	
3° *Complément du remblai.*				
Fournitures diverses	»	270 62	»	»
Locations diverses	»	28 99	»	»
Main-d'œuvre	»	5208 00	»	»
			5507 52	
4° *Répandage de terre végétale et semis.*				
Fournitures diverses	»	1372 60	»	»
Journées d'ouvriers	»	43 00	»	»
			1415 60	
5° *Règlement des talus consolidés*	»		437 60	»
6° *Construction de rigoles d'assainissement.*				
Matériaux	»	255 59	»	»
Fournitures diverses	»	80 60	»	»
Main-d'œuvre	»	586 50	»	»
			922 69	
	9863mq,00		22286 12	2 26

	QUANTITÉS de chaque ouvrage.	SURFACES de talus consolidés	SOMMES partielles.	SOMMES totales par ouvrage.	PRIX MOYENS. par ouvrage.	PRIX MOYENS. par mètre carré de talus consolidé.
293. Remblai de Malbouhans.						
1° TERRASSEMENTS.						
Construction de contreforts et complément. Déblai d'éboulements. Déblai d'emprunts. Pilonnage.					»	»
Fournitures diverses.	»	»	550 65	»	»	»
Main-d'œuvre........	»	»	22373 17	»		
	15704mc,32			22923 82	1 45	
2° *Filtres.*						
Matériaux............	»	»	2673 85	»	»	»
Main-d'œuvre..........	»	»	3427 54	»	»	»
	1713mc,77			6101 39	3 56	
3° *Rigoles d'asscinissement avec chéneaux.*						
Matériaux............	»	»	1811 55	»	»	»
Fournitures diverses.	»	»	2508 94	»	»	»
Main-d'œuvre........	»	»	2709 78	»	»	»
	2467m,91			7030 27	2 84	
4° *Règlement de talus*...	2711mq,04	»	»	135 55	0 05	»
5° *Semis.*						
Fournitures diverses.	»	»	472 06	»	»	»
Main-d'œuvre........	»	»	243 98	»	»	»
	12199mq,29			715 98	0 05	
6° *Contrefort en maçonnerie.*						
Matériaux............		»	63 74	»	»	»
Main-d'œuvre.........		»	151 90	»	»	»
	43mc,40			215 64	4 96	
		11725mq,80		37122 65		3 16
294. Remblai du Rheiner.						
1° TERRASSEMENTS.						
Construction de contreforts et complément. Déblai d'éboulements. Déblai d'emprunts. Pilonnage.						

	QUANTITÉS de chaque ouvrage.	SURFACES de talus consolidés	SOMMES partielles.	SOMMES totales par ouvrage.	PRIX MOYENS par ouvrage.	PRIX MOYENS par mètre carré de talus consolidé.
Fournitures diverses.	»	»	64 35	»	»	»
Main-d'œuvre........	»	»	18196 60	»	»	»
	16928^{mc},00			18260 95	1 07	
2° *Filtres.*						»
Matériaux............	»	»	240 02	»	»	»
Main-d'œuvre........	»	»	3377 38	»	»	»
	1688^{mc},69			3617 40	2 14	
3° *Rigoles d'assainissement.*						
Matériaux...........	»	»	214 50	»	»	»
Fournitures diverses.	»	»	3053 50	»	»	»
Main-d'œuvre........	»	»	5011 57	»	»	»
	4172^{m},90			8279 57	1 98	
4° *Perrés.*						
Matériaux............	»	»	297 77	»	»	»
Main-d'œuvre........	»	»	197 12		»	»
	98^{mc},56			494 89	5 02	
5° *Règlement de talus*...	2945^{mq},55	»	»	147 28	0 05	
6° *Semis.*						
Fournitures diverses.	»	»	28 00	»	»	»
Main-d'œuvre........	»	»	32 00	»	»	»
	3000^{mq},00			60 00	0 02	
		12524mq,80		30860 09		2 46

295. **Remblai de la Station de Ronchamp.**

1° *Terrassements, filtres, rigoles.*						
Matériaux............	»	»	3633 19	»	»	»
Fournitures diverses.	»	»	2013 91	»	»	»
Main-d'œuvre........	»	»	15928 27	»	»	»
				21575 37		
2° *Perrés en pierre sèche.*						
1° Deblai et transport..	»	»	1562 61	»	»	»
2° Maçonnerie.........	»	»	»	»	»	»
Matériaux............	»	»	2197 68	»	»	»
Main-d'œuvre........	1095 25	»	1455 52	»	»	»
				5215 81	4 76	
3° *Cuvettes en maçonnerie*						
Matériaux............	»	»	881 80	»	»	»
Main-d'œuvre........	»	»	864 14	»	»	»
	193^{mc},49			1745 94	9 02	
A reporter...	....	....	....	28537 12		

	QUANTITÉS de chaque ouvrage.	SURFACES de talus consolidés	SOMMES partielles.	SOMMES totales par ouvrage.	PRIX MOYENS par ouvrage.	PRIX MOYENS par mètre carré de talus consolidé.
Report...	....	....	....	28537 15		
4° *Règlement de talus et de banquettes; gazonnement.*	»	»	»	283 59	»	»
5° *Semis.*						
Fournitures diverses.	»	»	258 00	»	»	»
Main-d'œuvre........	»	»	84 40	»	»	»
	4220mq,00			342 40	0 08	
		6956mq,34		29163 14		4 19

296. Remblai de Chèvremont.

1° TERRASSEMENTS.						
Contre-forts et complément Déblai d'éboulements, pilonnage...............	1166mc,76	»	»	2140 95	1 83	»
2° *Filtres.*						
Matériaux............	»	»	52 50	»	»	»
Main-d'œuvre........	»	»	193 20	»	»	»
	96mc,60			245 70	2 56	
3° *Rigoles d'assainissemt.*						
Matériaux............	»	»	21 00	»	»	»
Main-d'œuvre........	»	»	23 87	»	»	»
	34m,10			44 87	1 31	
4° *Semis*.................	1702mq,00	»	»	340 40	0 02	»
5° *Gazonnement à plat*..	135mq,00	»	»	67 50	0 50	»
		1736mq,52		2839 42		1 63

297. Remblai de la Largue.

1° TERRASSEMENTS.						
Contre-forts et complément Déblai d'éboulements, déblai d'emprunts, pilonnage.						

	QUANTITÉS de chaque ouvrage.	SURFACES de talus consolidés	SOMMES		PRIX MOYENS	
			partielles.	totales par ouvrage.	par ouvrage.	par mètre carré de talus consolidé.
Fournitures diverses..	»	»	2441 39	»	»	»
Main-d'œuvre........	»	»	71557 99	»	»	»
	53538^{mc},47			73999 38	1 38	
2° *Filtres.*						
Matériaux...........	»	»	9277 74	»	»	»
Fournitures diverses.	»	»	130 00	»	»	»
Main-d'œuvre........	»	»	6916 69	»	»	»
	4154^{mc},14			16324 43	3 92	
3° *Rigoles d'assainissem*[t]						
Matériaux...........	»	»	1102 85	»	»	»
Fournitures diverses.	»	»	5066 59	»	»	»
Main-d'œuvre........	»	»	3228 19	»	»	»
	4836^{mc},96			9397 63	1 92	
4° *Semis.*						
Fournitures diverses.	»	»	114 50	»	»	»
Main-d'œuvre........	»	»	1353 70	»	»	»
	29474^{mq},21			1468 20	0 05	
		29474^{mq},21		101189 64		3 43

298. Remblai du Rosbaekel.

1° TERRASSEMENTS.						
Contre-forts et complément						
Déblai d'éboulements, déblai d'emprunts, pilonnage.						
Fournitures diverses.	»	»	630 65	»	»	»
Main-d'œuvre........	»	»	26831 89	»	»	»
	18992^{mc},02			27462 54	1 44	
2° *Filtres.*						
Matériaux...........	»	»	4084 83	»	»	»
Fournitures diverses.	»	»	70 00	»	»	»
Main-d'œuvre........	»	»	2369 76	»	»	»
	1264^{mc},35			6524 59	5 16	
3° *Rigoles d'assainissem*[t]						
Matériaux...........	»	»	559 50	»	»	»
Fournitures diverses.	»	»	2052 67	»	»	»
Main-d'œuvre........	»	»	1098 62	»	»	»
	1217^{mc},70			3710 79	3 05	
4° *Semis.*						
Fournitures diverses.	»	»	75 00	»	»	»
Main-d'œuvre........	»	»	180 00	»	»	»
	9615^{mq},59			255 00	0 02	
		9615^{mq},59		37952 92		3 94

RÉCAPITULATION GÉNÉRALE.

1° TRANCHÉES.	DÉPENSE par Tranchée.	SURFACE de chaque Tranchée.	PRIX du mètre carré.
1° Tranchée de Courteranges............	5438 24	5104mq,00	1 06
2° » de Montiéramey............	11457 20	7125 ,00	1 61
3° » de Briel..................	51667 77	31427 ,00	1 64
4° » de la Villeneuve............	28207 22	19567 ,00	1 44
5° » de la Vinoterie............	51568 23	20407 ,00	2 53
6° » de Vendeuvre...............	27050 91	13078 ,00	2 06
7° » de la Montagne............	13132 72	6476 ,00	2 02
8° Emprunt de la Station de Bricon.....	2766 10	1823 ,00	1 52
9° Tranchée de la Voivre...............	8555 43	555 ,00	15 41
10° » de la Côte..................	18259 66	14840 ,68	1 23
11° » de Grattery.................	19052 70	13761 ,96	1 38
12° » de Ronchamp................	38681 19	9884 ,74	3 91
13° » du Chevannel................	75742 61	25152 ,72	3 01
14° » des Barres..................	6058 38	5192 ,25	1 16
15° » de Danjoutin................	5207 52	6970 ,64	0 74
16° » du Grivé....................	8857 36	9366 ,61	0 94
17° » de Norval..................	9893 45	7503 ,47	1 31
TOTAL GÉNÉRAL...	381596 69	198235m2,07	

Le prix de revient total pour un mètre carré de talus de tranchée serait donc $\frac{381596^{f}69}{198235^{mq}07} = 1^{f}92$, y compris les déblais supplémentaires effectués aux tranchées de Ronchamp et du Chevannel (Voir les numéros 281 et 282).

Mais en déduisant de la somme totale.. 381596f69

1° Déblai supplémentaire des tranchées de Ronchamp... 15026f47

2° Déblai supplémentaire de la tranchée du Chevannel.... 32694f75

47721f22

il restera... 333875f47

et le prix de revient réel pour un mètre carré de travaux de consolidation proprement dits sera........ $\frac{333875^{f}47}{198235^{f}07} = 1^{f}68$

2° REMBLAIS.	DÉPENSE pour chaque remblai.	SURFACE de chaque remblai.	PRIX du mètre carré.
1° Remblai de la Mélaine................	1370 57	572m²,00	2 40
2° » des Plantins.................	1811 51	1643 ,00	1 10
3° » de Briel.....................	353 56	155 ,00	2 28
4° » de la Villeneuve............	2171 37	975 ,00	2 22
5° » des Couveaux................	31884 38	12890 ,00	2 47
6° » de Vendeuvre................	22286 12	9863 ,00	2 26
7° » de Malbouhans...............	37122 65	11725 ,80	3 16
8° » du Rheiner..................	30860 09	12524 ,80	2 46
9° » de la station de Ronchamp...	29163 11	6956 ,34	4 19
10° » de Chèvremont..............	2839 00	1736 ,52	1 63
11° » de la Largue...............	101189 64	29174 ,21	3 43
12° » du Rosbaekel...............	37952 92	9615 ,59	3 94
TOTAL GÉNÉRAL...	299004 92	98131m²,26	

Le prix de revient total pour un mètre carré de talus de remblai serait donc $\frac{299004^{f}92}{98131^{mq}26} = 3^{f}04$.

Prix de revient moyen d'un mètre carré de talus consolidé, tant en déblai qu'en remblai :

$$\text{Somme totale} = \left.\begin{matrix}\text{déblais} = 333875^{f}47 \\ \text{remblais} = 299004^{f}92\end{matrix}\right\} 632880^{f}39$$

$$\text{Surface totale} = \left.\begin{matrix}\text{déblais} = 198235^{mq}07 \\ \text{remblais} = 98131^{mq}26\end{matrix}\right\} 296366^{m^2},33$$

$$\text{Prix moyen} = \frac{632880^{f}39}{296366^{m^2},33} = 2^{f}13$$

Ce prix de 2 fr. 13 c., moyenne générale de la dépense pour consolidation de 1 mètre carré de talus, comprend en outre des dépenses accessoires pour travaux qui ne rentrent qu'indirectement dans la catégorie des travaux de consolidation proprement dits, tels par exemple que des déblais supplémentaires pour adoucissement de talus. Aucune déduction n'a été faite à cause du prix exceptionnel de certaines espèces de matériaux transportés à grandes distances, ni en considération des prix de main-d'œuvre fort élevés, tels que travaux de nuit, déblai de terres éboulées dans la saison des pluies, pilonnages pendant les fortes gelées, etc.

Nous ne pensons pas que l'on obtienne un prix inférieur à 2 fr. 13 c. par mètre carré de talus à difficultés égales par des procédés différents de ceux que nous avons décrits dans les chapitres précédents. Des travaux de consolidation de remblais, au moyen de galeries de mines, ont coûté jusqu'à 15 francs le mètre carré, en tenant compte de la différence qui existe entre les cubes actuels des remblais et ceux qui avaient été prévus. Dans bien d'autres cas, les prix moyens par ouvrages atteindraient des chiffres plus élevés encore, si les dépenses qui se rattachent aux travaux de consolidation étaient toutes classées dans un chapitre spécial, si l'on tenait compte des cubes supplémentaires de déblais ou de remblais, des travaux de réparation, etc. On peut, ce nous semble, évaluer à 8 ou 10 francs la moyenne du prix de revient réel du mètre carré de talus consolidés par les procédés les plus en usage, en y ajoutant les frais pour modification des profils primitifs.

En supposant même que l'économie réalisée par notre

système ne soit que de 4 à 5 francs par mètre carré, ce serait encore par millions de francs qu'il faudrait compter les économies réalisées ou à espérer dans la construction d'un chemin de fer d'une certaine étendue.

Digitized by Google

CHAPITRE VIII.

EXAMEN DES DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE CONSOLIDATION.

Tranchées.

299. L'observation des faits sert de base à chacun des principaux systèmes de consolidation dont nous avons donné un aperçu dans le chapitre Ier. Comment se fait-il donc que les auteurs déduisent de l'expérience des principes distincts, et qu'ils soient en conséquence amenés à se servir de procédés différents? car il faut bien reconnaître :

1° Avec M. Collin, que la pesanteur joue un rôle principal dans la production des éboulements, et que les surfaces de glissement présentent souvent la forme qu'il indique.

2° Avec M. Chaperon, que dans le cas des éboulements à grande distance, les masses se trouvent parfois dans un état d'équilibre instable.

3° Avec MM. de Sazilly, Daigremont et Ledru, etc., qu'un grand nombre d'éboulements résultent de l'action ramollissante des eaux.

Digitized by Google

S'il existe une si grande différence entre les opinions de ces ingénieurs, c'est qu'ils se sont appuyés sur des faits particuliers, ou bien parce qu'ils ont envisagé les données de l'expérience sous des points de vue différents. Il est bien facile d'expliquer ainsi comment des ingénieurs éminents ont été conduits par des voies différentes à des résultats dont l'utilité est constatée.

Mais s'il peut être admis que, dans certaines circonstances particulières, il est possible d'arriver à des résultats satisfaisants, en recourant à l'un ou à l'autre des différents systèmes connus, il est bien évident aussi que la plupart sont insuffisants quand on veut les appliquer dans tous les cas, ou, en d'autres termes, qu'ils sont incomplets.

Nous avons trouvé dans chacun des ouvrages que nous avons mentionnés au chapitre Ier des renseignements fort utiles, des idées justes, et c'est après avoir fait de ces ouvrages une étude sérieuse, que nous sommes arrivé, en nous appuyant en outre sur des faits extrêmement nombreux et variés, à formuler la base de notre système.

En posant comme principe que la stabilité des terres résulte de l'action de trois forces principales, savoir :

1° *Pesanteur;*

2° *Cohésion et frottement,*

on voit sans peine que notre définition est d'accord avec les principes de MM. Collin et Chaperon, puisque nous ramenons, nous aussi, le problème à une simple question d'équilibre, et de plus que les différents systèmes par assainissement ont également avec le nôtre une certaine coïncidence, puisque nous admettons que les eaux jouent un rôle principal dans la production des

éboulements en amenant une diminution de la cohésion et du frottement.

Notre intention ne peut donc pas être de contredire les opinions émises par les ingénieurs qui se sont occupés de la consolidation des talus; nous nous proposons tout simplement d'indiquer brièvement dans quelles conditions les principes qui servent de base aux différents systèmes ne sont plus confirmés par l'expérience et les circonstances où les procédés décrits au chapitre Ier deviennent insuffisants.

1° Contre-forts de M. Collin.

300. M. Collin s'est attaché à démontrer la prédominance de la pesanteur dans la production des éboulements. L'action de la gravité lui paraît particulièrement prouvée par la forme cycloïdale des surfaces de glissement. Partant de ce principe, il est logiquement conduit à supposer que les éboulements surviennent spontanément, à ne reconnaître que comme des exceptions extrêmement rares la préexistence des surfaces de glissement, et à n'attribuer qu'un rôle secondaire à l'action de la cohésion et à la résistance de frottement; et, pour la même raison, il se contente simplement de chercher à indiquer l'énergie de la résistance qu'il faut opposer aux masses qui peuvent glisser dans une circonstance déterminée [1].

[1] *Recherches expérimentales sur les glissements spontanés des terrains argileux*, de M. A. Collin.

On ne peut nier que le frottement, quoique susceptible d'augmentation et de diminution dans des limites fort étendues, ne présente toujours une résistance notable à l'action de la pesanteur. D'un autre côté, nous pensons que la cohésion joue, dans l'équilibre des masses de terres, un rôle tout aussi actif que la pesanteur. Ces deux forces ont entre elles d'ailleurs une assez grande analogie; la cohésion n'est autre chose, en effet, que l'affinité entre des molécules différentes, et l'affinité, comme la pesanteur, sont deux divisions de l'attraction universelle. La seule distinction qu'il est nécessaire d'indiquer dans le cas qui nous occupe, c'est que la pesanteur agit d'une manière incessante avec une énergie proportionnelle aux masses, pendant que la cohésion, qui s'exerce aussi d'une manière constante tant que les molécules sont assez rapprochées, est susceptible d'augmenter et de diminuer, selon le degré d'humidité des terres. Par conséquent, nous ne pensons pas que l'on doive attribuer un rôle capital à l'action de la pesanteur dans la production des éboulements. S'il fallait admettre pourtant que la cohésion est passive de la pesanteur, nous verrions toujours d'un côté une force constante, et de l'autre une résistance dont l'énergie doit être maintenue à un degré suffisant au moyen des procédés de consolidation.

Il y a donc toujours rupture de l'équilibre des masses, ou, en d'autres termes, production d'éboulements, quand la somme des résistances de la cohésion et du frottement est inférieure à l'action de la pesanteur. La forme curviligne des surfaces de glissement se trouve donc expliquée aussi dans notre système, et, en attribuant au frottement ou à la cohésion un rôle de premier ordre, il n'est

plus possible d'admettre que les éboulements surviennent spontanément; car, avec l'habitude, on parvient très-bien à prévoir non-seulement presque tous les éboulements, mais encore à déterminer à l'avance leur forme et leur étendue avec assez d'approximation.

301. Les procédés de consolidation de M. Collin, les contre-forts avec arceaux de décharge surtout, sont applicables aux éboulements de remblais dans un assez grand nombre de cas, quand, par exemple, le terrain n'est pas trop glaiseux et que les terres ne sont pas susceptibles de devenir très-humides par l'introduction des eaux pluviales, comme cela arrive souvent sur les remblais argileux des chemins de fer.

Mais, quand il s'agit des talus de déblais dans les terrains argileux et aquifères, les contre-forts, même munis d'arceaux de décharge, ne sont pas toujours suffisants; car on n'obtient qu'imparfaitement par ces moyens un écoulement des eaux intérieures, qui sont toujours capables, si elles sont assez abondantes, de ramollir les terres pilonnées ou le terrain naturel dans les espaces compris entre les surfaces formées par les contre-forts et les arcs surbaissés (fig. 3, 4 ... 8).

Les travaux préventifs et surtout les travaux répressifs, suivant la méthode de M. Collin, présentent incontestablement beaucoup de difficultés. Les dépenses pour maçonneries, et principalement pour l'enlèvement des terres éboulées et le pilonnage dans la réparation des talus, doivent s'élever à un chiffre considérable et certainement beaucoup plus élevé que celui que nous avons obtenu jusqu'à ce jour dans les différents services qui nous on été confiés.

Quant à l'ouvrage de M. Collin, dans lequel nous

avons puisé les renseignements relatifs à ses procédés de consolidation, nous croyons que ce livre n'est pas suffisamment connu ; car c'est un de ces ouvrages que l'on relit toujours avec le même plaisir, parce qu'il offre tout l'attrait des œuvres écrites avec une véritable conviction, et parce qu'on y trouve une foule de renseignements intéressants, résultats d'expériences nombreuses faites avec le plus grand soin.

Du reste, il nous a semblé que M. Collin n'a pas voulu, à proprement parler, et c'est assurément regrettable, créer un système de consolidation, mais seulement « marquer le point de départ d'une théorie nouvelle » appuyée sur l'expérience ; et l'on pourra remarquer, en lisant cet ouvrage, que le nôtre, dans ce qu'il a d'essentiel, contient peu d'observations qui ne puissent être appuyées sur celles qui ont déjà été émises par M. Collin.

2° Murs de soutènement de M. Chaperon.

302. L'intention de M. Chaperon, en écrivant sa note dont nous avons rapporté quelques passages, a été, ce nous semble, de démontrer l'insuffisance de l'explication donnée par M. de Sazilly sur la formation des éboulements très-volumineux. La rupture d'équilibre des masses glaiseuses, telle est à notre avis, dit M. Chaperon, la cause prépondérante des grands éboulements et des glissements à grande distance.

Les éboulements qui dépassent les limites des éboulements superficiels se produisent, comme nous l'avons déjà dit, de deux manières, ou bien ils se forment de masses partielles qui se détachent successivement par

Digitized by Google

l'action des eaux intérieures de filtration ou par suite du passage des eaux pluviales qui descendent dans les tranchées en passant sur les talus, ou bien ils se produisent tout d'un coup, comme cela arrive presque toujours dans le cas de couches inclinées reposant sur des surfaces de glissement préexistantes.

Dans ce dernier cas, on peut admettre sans restriction la théorie de M. Chaperon, et si nous conseillons l'emploi des contre-forts en terre, de préférence aux murs de soutènement, c'est uniquement par raison d'économie, et parce que de cette manière on a toujours sous la main et en temps opportun les matériaux nécessaires aux travaux de consolidation.

Mais, hormis le cas où il existe des surfaces naturelles de glissement, nous croyons que l'on doit toujours avoir recours aux travaux d'assainissement ; car les éboulements n'atteignent pas toujours un assez grand volume pour justifier l'emploi des contre-forts en maçonnerie ou des murs de soutènement, etc. Il est, d'ailleurs, toujours facile, à l'inspection du terrain, de reconnaître la limite exacte des masses qui se sont déplacées de leur position naturelle et primitive.

M. Chaperon ajoute, à propos de l'emploi des contreforts en maçonnerie, des murs de soutènement, etc. : « Ce moyen est dispendieux, mais il est sûr. »

La sécurité est certainement le premier des avantages que l'on doit rechercher dans les travaux de consolidation, et, sous ce rapport, nous n'hésitons pas à dire que le système de M. Chaperon est l'un des meilleurs parmi les systèmes connus, et il nous a été prouvé bien des fois qu'avec des procédés d'assainissement mal compris ou mal dirigés, on aggrave quelquefois le mal au lieu de

Digitized by Google

l'éviter, et que souvent alors les dépenses dépassent de beaucoup celles qu'eût exigé l'emploi des murs de soutènement.

Système de M. de Sazilly.

303. Toutes les fois qu'il s'agit de prévenir la dégradation des talus quand les terres sont soumises principalement à l'action des eaux, on obtient toujours, par la méthode de M. de Sazilly, d'excellents résultats, lorsque son système est bien compris et ses procédés bien appliqués. Mais, comme M. Chaperon l'a démontré, le système de M. de Sazilly n'est plus suffisant pour expliquer la formation de tous les grands éboulements. L'explication de la production des éboulements par l'action unique des eaux n'est pas plus complète que celle qui conduit à attribuer un rôle capital à la pesanteur.

C'est là une des raisons qui nous a suggéré l'idée, à différentes époques, de modifier les procédés que nous avons employés sous la direction de M. de Sazilly, et qui nous a enfin déterminé à donner à notre système une base nouvelle plus en harmonie avec l'observation des faits. Le titre de cet ouvrage se trouve ainsi suffisamment justifié ; car, non-seulement nous avons adopté un principe fondamental différent, mais encore nous avons pu, en conséquence, modifier considérablement presque tous les procédés de M. de Sazilly, en appliquer de nouveaux pour l'assainissement des talus, et arriver à consolider ceux-ci dans les terrains où il existe réellement des surfaces de glissement préexistantes. Ainsi, il y a entre notre système et celui de M. de Sazilly d'importantes

différences, en ce qui touche les principes et les procédés.

Les principales différences entre les procédés sont les suivantes :

1° Pour les travaux d'assainissement,

Modification dans la forme des caniveaux (fig. 11, 91 et 92);

Modification du recouvrement des caniveaux ;

Suppression des barbacanes à la surface des talus.

2° Pour les revêtements,

Pilonnage par couches horizontales, au lieu de trois couches parallèles au plan des talus ;

Suppression des redans et même des revêtements dans un grand nombre de cas.

3° Pour la réparation des talus éboulés,

Non-enlèvement des masses éboulées ;

Consolidation des éboulements au moyen de contreforts.

4° Pour la consolidation préventive des talus avec bancs de glissement dans les terrains inclinés,

Construction de contre-forts en terres pilonnées ;

Assainissement au moyen d'un mur en pierre sèche.

5° Enfin pour la consolidation des remblais,

Non-enlèvement des éboulements ;

Assainissement des terres au moyen de rigoles en bois imperméables sur la plate-forme ;

Construction de contre-forts ;

Assainissement à la base des remblais par la construction des murs en pierre sèche entre les contre-forts et la masse principale des remblais.

Digitized by Google

Tunnels.

305. La construction des voûtes au-dessus des chemins de fer pour la consolidation des talus nous paraît un moyen tout à fait extrême, que nous nous abstiendrons de discuter.

Drainage.

306. Le drainage appliqué à l'assèchement des sols humides doit incontestablement donner de bons résultats; mais, à notre avis, on a trop compliqué ce genre de travail, et la plupart des ouvrages qui ont été écrits sur cette matière ont d'abord donné aux cultivateurs de trop grandes espérances que le temps n'a pas encore justifiées.

C'est là, il est vrai, une question d'agriculture qui ne rentre que bien indirectement dans notre sujet; mais la connaissance particulière que nous avons des terrains nous autorise à dire que l'on aurait dû s'en tenir avec le drainage, à l'assèchement des terrains humides. On a eu le tort, selon nous, d'attribuer au drainage agricole des qualités qu'il n'a pas, d'en espérer une amélioration du sol qu'il ne peut produire et de supposer même qu'il est capable d'assécher les terres en hiver, et de donner de l'humidité en été.

Aussi, à force de raisonnements, quelques auteurs n'ont-ils pas hésité à recommmander l'opération du

Digitized by Google

drainage dans toutes espèces de terrains, qu'ils soient humides ou non. C'est pourquoi nous avons trouvé si plein d'à-propos le mot de M. Richard (du Cantal), dont la vieille et solide expérience vaut bien toutes les théories possibles, et qui écrivait en 1855 : « Le drainage en France se fait plutôt par mode que par besoin [1]. » En effet, la confiance, à une certaine époque, était devenue telle, que l'on a pu écrire les lignes suivantes :

« Si le père de famille, honnête, rangé, laborieux, peut un jour subvenir, par son travail, aux besoins de ses enfants ; si, dans un avenir plus ou moins éloigné, la faim, ce pâle et hideux spectre, ne peut plus serrer de ses mortelles étreintes la plupart de nos villes manufacturières ; si, à la santé débile, il peut-être accordé le repas indispensable, une nourriture confortable ; si l'exemple d'une mère, dont le lait s'est tari par suite de douloureuses privations, voit avec désespoir son enfant bien-aimé souffrir, s'étioler et mourir après une longue agonie ; si, dans vingt, trente, cinquante années, cet exemple n'est plus qu'une rare exception ; si, enfin, la France, où de tous les points du globe, on vient chercher ce je ne sais quoi que l'on ne trouve nulle autre part ; si, disons-nous, notre chère patrie vient à produire des substances alimentaires en quantité suffisante ; si le climat, encore meurtrier de certaines contrées, devient plus salubre, ces avantages seront dus aux améliorations agricoles que quelques hommes propagent avec tant de persévérance, mais surtout au drainage, s'il est appliqué avec intelligence et dans de vastes proportions. Et tout nous dit que ce résultat sera bientôt atteint [2]. »

[1] *Journal pour tous*, p. 36.

[2] *Drainage* par Vitard, p. 11.

Cette faveur exagérée accordée au drainage devait être nécessairement suivie du découragement que l'on peut constater aujourd'hui et provoquer même des réflexions en sens contraire, telles que celles-ci, qui ont été écrites pour combattre le système dit anglais, le plus en usage en France.

« Avant cinquante ans l'Angleterre ne produira plus un grain de blé. Avant un siècle les plaines de l'Angleterre seront aussi stériles que celles de Ninive et de Babylone, dont les habitants ont disparu, non parce qu'ils ont été vaincus, car une nation conquise se relève, plus forte et plus vivace souvent qu'elle ne l'était avant la conquête ; mais parce qu'ils ont drainé horizontalement leurs terres qui, fertiles autrefois et nourrissant une population innombrable, n'offrent aux regards du voyageur qu'une plaine aride et des collines dénudées[1]. »

Espérons que les agriculteurs ne se laisseront entraîner ni par le découragement ni par un excès de confiance, et que les sacrifices que fait l'Etat pour étendre l'application du drainage dans des limites raisonnables ne seront pas perdus.

307. Les ingénieurs qui ont tenté de consolider les talus par le drainage admettent avec raison que les éboulements sont produits par l'action des eaux. Partant de ce principe, il nous a toujours semblé que le drainage a été appliqué aux travaux de consolidation avec la louable intention de simplifier les procédés d'assainissement de M. de Sazilly.

En effet, il paraît au premier abord que le drainage doit donner les mêmes résultats dans les mêmes cir-

[1] *Drainage radié*, par Midy, p. 7.

constances, puisque l'on cherche à recueillir les eaux intérieures près de la surface des talus pour les diriger ensuite dans les contre-fossés ou dans les collecteurs, c'est-à-dire en dehors des surfaces qu'il s'agit de soustraire à l'influence de l'humidité.

Et si l'on suppose que l'assèchement de la couche comprise entre la surface d'un talus et le plan qui passe par le fond des drains doit produire une couche désagrégée d'une certaine épaisseur, on doit, ce semble, arriver au même but que par le moyen des revêtements en terres pilonnées.

Nous concevons très-bien qu'à l'aide de cette théorie nouvelle, on pouvait espérer de bons résultats, et, avec le raisonnement sans l'expérience, il est difficile de ne pas reconnaître une grande valeur à ces systèmes. Nous ajouterons même qu'il nous a fallu toute notre expérience des travaux de terrassement pour ne pas accepter tout d'abord les idées des ingénieurs à ce sujet.

La cause du drainage appliqué à la consolidation des talus est jugée depuis longtemps. Nous nous contenterons donc de faire brièvement quelques remarques sur le drainage superficiel.

308. Les tuyaux de drainage n'ont pour objet que de produire un espace suffisant et non interrompu par lequel les eaux de filtration peuvent s'écouler librement.

Mais supposons que les drains suivent la direction des bancs de suintement, on ne peut nier que les eaux ne passent pas toutes dans les tuyaux et qu'une grande partie s'écoule sur le terrain naturel lui-même, quel que soit le soin avec lequel les fouilles sont réglées. Ces eaux se répandent donc dans les terrains avec lesquels

elles sont en contact, et sont ainsi capables de produire des éboulements de surface, surtout dans les couches argileuses qui ne sont que rarement tout à fait imperméables. L'humidité se répand encore bien plus promptement et plus abondamment, si l'on suppose, comme cela peut souvent arriver, que les terres exposées à l'air sont désagrégées jusqu'à la profondeur où sont placés les tuyaux. Si maintenant le remplissage des drains se fait seulement avec des terres pilonnées, on empêche le libre cours des eaux intérieures à leur sortie du terrain naturel, ou bien ces terres ne s'opposent pas au passage direct d'une partie de l'humidité vers la surface des talus; et, quoi qu'on fasse, il devient difficile d'éviter l'engorgement des tuyaux.

308 *bis*. Les drains espacés régulièrement et disposés en écharpe sur le plan des talus ne présentent pas de moindres inconvénients. Les coupures profondes nuisent plus que dans le cas précédent à la solidité des talus. Si la surface à assainir est humide sur une grande hauteur, c'est que le terrain est perméable ou mélangé de couches perméables très-rapprochées; par conséquent, les eaux peuvent facilement passer au-dessus ou au-dessous des drains.

Du reste, l'emploi de ce procédé paraît être maintenant très-limité.

La méthode qui consiste à disposer les drains selon la plus grande pente des talus (n° 28) est assurément bien moins défectueuse. Quand on les construit avec soin, avec empierrements, recouvrements en gazon et terres pilonnées, comme à la figure 211[a], les parois des drains ne tendent pas à s'ébouler, parce qu'elles sont solidement maintenues par les matériaux mis en œuvre.

Mais l'on doit reprocher à ce système d'être souvent insuffisant :

1° Si l'on suppose que le drainage produit l'assèchement d'une couche plus ou moins régulière qui mette le terrain naturel, ou, si l'on veut, le terrain vierge, à l'abri des effets de la gelée, nous ferons observer que, dans bien des cas, l'assainissement des terrains argileux n'en change pas assez complétement la nature pour les préserver des influences atmosphériques et, par conséquent, pour dispenser de faire le revêtement des talus assainis.

2° Il convient aussi de se rendre compte de l'effet utile des drains ; leur espacement, qui est en moyenne de 5 mètres, est bien calculé au point de vue de la dépense et de la solidité des masses intermédiaires. Les drains servent à l'écoulement des eaux intérieures, et il est incontestable qu'ils ne donnent pas lieu aux graves inconvénients que nous avons signalés dans les exemples précédents. Mais il faut remarquer que, si, dans certains cas, la quantité d'eau qui s'écoule par les drains suffit pour assurer la solidité des terrains, l'assèchement de la surface est toujours incomplet.

Représentons-nous, en effet, un talus drainé de la manière indiquée à la figure 211ª. La pierrée d'assainissement n'a d'autre objet que de ménager des espaces suffisants pour l'écoulement facile des eaux reçues dans les drains. Les matières filtrantes, quelles qu'elles soient, n'ont pas la propriété d'attirer l'humidité, n'exerçant à distance aucune attraction sur les eaux intérieures.

Faisant donc abstraction de l'empierrement (fig. 211ᵇ et 211ᶜ), nous concevrons très-facilement que les eaux

des couches aquifères devront se rendre dans l'espace vide des rigoles de drainage, par la tendance qu'elles ont de s'écouler suivant le trajet le plus court et le plus facile.

Or, il est évident que les eaux qui parcourent les couches proviennent de la surface du sol à une distance plus ou moins éloignée; qu'une partie de l'humidité est retenue par une force d'affinité et fait pour ainsi dire partie intégrante des masses terreuses; et que le reste est tout simplement soumis aux lois de la pesanteur. Ainsi la partie libre des eaux de filtration doit s'écouler à travers les couches perméables, en suivant une direction déterminée par les lignes de plus grande pente des surfaces supérieures des couches imperméables qui supportent les couches aquifères; mais le trajet peut et doit souvent se trouver modifié, selon la constitution du terrain perméable lui-même, selon les degrés différents de perméabilité des terres à différents points de leur hauteur, en différents endroits de leur étendue.

Les eaux ont donc à l'intérieur des couches perméables un trajet pour ainsi dire naturel, qui ne doit varier qu'avec leur abondance ou à la suite des modifications que le terrain peut éprouver dans sa constitution.

Il est certain que l'établissement des rigoles de drainage ne doit pas modifier considérablement ce mode d'écoulement presque déterminé. Sans aucun doute, les drains reçoivent les eaux qui arrivent naturellement dans la direction des rigoles et, de plus, une bonne partie de celles qui s'en trouvent assez rapprochées. Mais cet effet doit se trouver annulé à une certaine distance, moindre que la moitié de l'espace ordinaire de deux drains consécutifs.

Cette explication sera rendue plus facile par l'examen du plan (fig. 211^{c}), où l'on suppose une coupe selon un banc de suintement S et S′ des figures 211^{a}, 211^{b} et 211^{c}.

Les drains assèchent donc les terrains complétement, selon l'étendue de l'ouverture des rigoles, et en partie seulement entre les drains consécutifs, et par conséquent, l'assainissement est incomplet.

La même proposition peut d'ailleurs trouver son explication par les figures 211^{d} et 211e, où la coupe de la figure 211^{c} est reproduite, mais avec un nouveau tracé du mouvement des eaux intérieures.

Évidemment, ni le vide ni l'empierrement n'exercent aucune attraction capable de modifier le mouvement des eaux de filtration à l'intérieur des terres. Nous avons dit que l'on se propose, par le drainage de ce système, d'assécher la surface des talus. Mais, pour obtenir ce résultat, il faudrait attribuer aux drains une force d'attraction qui ne peut guère, selon nous, se justifier. D'ailleurs, cette influence des drains irait en décroissant avec la distance, et, en partant de cette supposition, on serait conduit à imaginer que le mouvement des eaux a lieu comme à la figure 211^{d}, c'est-à-dire que l'humidité serait forcée de rétrograder vers les rigoles d'assainissement, et cela avec d'autant plus de force que l'effet des drains semble, avec l'accroissement de la distance, moins énergique.

En ne s'arrêtant pas à cette supposition, il faut alors admettre que l'effet des drains se produit comme à la figure 211e, ce qui paraîtrait au premier abord plus probable; mais, dans ce cas, on est forcément conduit à attribuer aux drains une force d'aspiration qu'ils n'ont pas.

Digitized by Google

On pourrait, à la vérité, objecter que l'hypothèse de la figure 211e trouve son explication par la modification que doit éprouver le terrain au contact de l'air. Mais nous ferons observer que les fissures produites par la sécheresse n'ont lieu d'une manière sensible que dans les terrains exposés à l'air et qui sont par moment privés d'humidité, ce qui n'a presque jamais lieu dans l'établissement des drains de talus; car on ne draine que les terrains humides, et la construction des rigoles se fait toujours promptement, de manière que les surfaces de ces rigoles ne peuvent subir d'une manière assez notable les effets du contact de l'air.

Si nous insistons davantage sur ce système de drainage, c'est dans l'intérêt de ce que nous croyons être la vérité, et qu'à notre avis, il est un des plus sérieux que nous ayons pu étudier. Le profil indiquant les principales dispositions de ce système produit une illusion; il semble bien, en effet, que les suintements correspondant à la pierrée d'assainissement, que les eaux devant s'écouler librement, il semble, disons-nous, que ce système réunit toutes les conditions désirables. Mais nous avons cru devoir examiner d'une manière plus générale l'effet réel des rigoles de drainage entre deux drains consécutifs, et démontrer ainsi qu'à côté d'avantages incontestables, le système de drainage par rigoles régulièrement espacées, selon la plus grande pente des talus, ne peut produire qu'un assèchement incomplet de la surface de ces talus.

Le drainage, appliqué à la consolidation des éboulements, de la manière dont nous l'avons exposé au numéro 39, peut réussir quelquefois, mais par exception. Sans aucun doute, les drains serviront à l'écoulement

d'une certaine partie des eaux intérieures ; mais, dans la plupart des cas, la quantité des eaux de filtration qui sortent du terrain naturel entre les extrémités de deux drains consécutifs, suffit souvent pour aggraver les éboulements. Les pierrées d'assainissement sont capables d'une assez grande résistance, quand elles ont des dimensions convenables ; mais alors l'effet utile qu'elles produisent ne doit plus être uniquement rapporté au drainage.

309. Le drainage, appliqué à la consolidation des remblais, donne lieu à des objections assez sérieuses.

L'assèchement du sous-sol, dans la traversée des terrains tourbeux, doit non-seulement produire d'excellents résultats, mais nous devons même dire qu'il est indispensable. On doit donc accepter sans réserve le principe et les procédés de consolidation décrits au numéro 41. Mais pour qu'il n'y ait pas de malentendu, nous ferons observer : 1° que si le terrain ne présente qu'une faible pente transversale, l'humidité du sous-sol ne justifie les travaux d'assèchement qu'autant que le terrain est compressible ; 2° que, dans le cas où le terrain naturel est incliné, comme à la figure 25 *bis*, les terrains ne sont qu'exceptionnellement compressibles, et que, dans de semblables circonstances, il serait dangereux d'isoler le prisme ABCD, sur le plan de glissement AD, par la construction des collecteurs AB et CD.

Quant au drainage de la masse même du remblai, l'expérience nous a démontré qu'il est toujours dangereux d'accumuler les eaux ou de les faire passer sur les terrains dans des endroits déterminés ; autant que cela se peut, les terres doivent être préservées du contact des eaux : les rigoles d'assainissement, avec ou sans

tuyaux, ne sont donc que des moyens imparfaits.

Si les drains placés dans le corps même du remblai, comme au numéro 43, devaient servir réellement à l'écoulement des eaux intérieures, ils présenteraient les mêmes inconvénients que les rigoles sans chéneaux ; mais, de plus, on peut être certain que, par l'effet du tassement des terres, les tuyaux doivent se disjoindre et s'envaser, s'ils se trouvent dans des endroits humides.

310. *Méthode de M. Lalanne* (voir n° 45). — Ce système nous paraît bien moins rationnel que les précédents, et ne peut donner, tout au plus, que des résultats négatifs ; car il est facile de comprendre que, d'abord, on n'est jamais certain que chaque drain se trouve bien, dans toute sa longueur, à la limite inférieure des couches aquifères. L'on ne peut pas supposer non plus que les eaux intérieures se rendront en grande quantité et uniquement dans les drains, même à une faible distance de la surface des talus. Comme il est facile de l'observer sur des talus drainés de cette manière, les eaux de filtration arrivent toujours à la surface des talus, sur toute la longueur apparente des couches aquifères, et sans interruption. Seulement, l'humidité paraît moindre, et elle peut l'être réellement dans les intervalles qui séparent les extrémités libres des tuyaux ; mais il faut aussi se rappeler que l'humidité diminue considérablement par l'évaporation à la surface des talus, et qu'elle est quelquefois plus grande qu'on ne pourrait d'abord le supposer. Si même on pouvait admettre que toutes les eaux intérieures se rendent dans les drains, le mal deviendrait encore plus grand ; car l'on comprend que le passage constant, sur un même point, d'une certaine quantité d'eau en mouvement, doit nécessairement ame-

ner la dégradation des terres, et produire d'abord des petits éboulements, dont la gravité augmente ensuite dans les mauvais terrains par l'accumulation des eaux de filtration, des eaux pluviales et des gelées.

Système de M. Daigremont.

311. Les procédés de consolidation de M. Daigremont, tels qu'ils ont été écrits dans le *Nouveau Portefeuille de l'ingénieur*, ne paraissent être que l'application du drainage au système par soutènement de M. Chaperon. En effet, M. Daigremont suppose qu'en asséchant un prisme ABCD (fig. 28), on obtient ainsi une espèce de contre-fort capable de résister à la poussée des masses qui se trouvent en arrière.

C'était là encore une idée très-ingénieuse, que, seule, une grande expérience des travaux de terrassement ne permettait point d'admettre à la première réflexion.

D'abord, l'ouverture des tranchées d'assainissement coûte beaucoup plus cher, dans les mêmes conditions, que les travaux d'assainissement ; les déblais de ces tranchées, offrant d'ailleurs beaucoup de difficultés, quand on doit descendre à une grande profondeur.

A part cet inconvénient, il semble, à première vue, que l'on peut assimiler les prismes assainis aux contreforts en terres pilonnées, auxquels nous avons recours dans différentes circonstances. Mais nous ferons remarquer que les terres acquièrent, par le pilonnage, un certain degré d'élasticité favorable à la résistance, et que les tuyaux de faible diamètre, placés verticalement en

AB (fig. 26), ne tiennent jamais lieu des empierrements de contre-forts.

Ces prismes présentent bien aussi une résistance de frottement et de cohésion; mais ces deux forces sont toujours moindres que dans les terres pilonnées, parce que le terrain naturel est généralement composé de couches de nature et de consistance différentes, qui n'ont entre elles qu'une faible adhérence; l'action de la pesanteur est encore, même souvent, favorisée par l'inclinaison de ces couches vers la tranchée.

Mais, de plus, ce prisme n'est jamais complétement assaini, parce que les eaux intérieures, en arrivant à la surface AB' (fig. 28), ont au moins la même tendance à s'étendre dans les terres qui remplissent la tranchée de drainage qu'à descendre au fond du drain. Et si les terres de remblai sont pilonnées pas couches, les eaux suivront alors la direction de ces couches, et arriveront encore à la surface des talus; dans le cas contraire, elles réduiront en boue les terres qui remplissent la tranchée de drainage.

On ne peut pas, en outre, supposer raisonnablement que les eaux, qui se rendent au fond du drain, ne tendent pas à s'écouler vers la surface du talus par la direction la plus courte, ou, si l'on veut, en suivant leur cours naturel à travers les terrains perméables qu'elles rencontrent; malgré toutes les précautions possibles, on ne peut empêcher que les tuyaux ne viennent à s'engorger par les matières terreuses que les eaux entraînent en passant à travers les terres remaniées. Et, dans tous les cas, le prisme *ab*CD ne peut être considéré comme assaini, dans l'exemple de la figure 26, que si l'on fait descendre le drain jusqu'au-dessous de la couche per-

méable P, à moins de ne recourir à un drainage superficiel, qui viendrait nécessairement modifier considérablement le système, et amoindrir la résistance du prisme *ab*CD.

Les prismes ABCD (fig. 28) n'offrent donc, par eux-mêmes, aucune condition de solidité, et nous avons pu remarquer que, dans des tranchées ainsi assainies, des éboulements se sont d'abord produits suivant la ligne A*b*D (fig. 26), c'est-à-dire au niveau du fond des drains.

Si maintenant le prisme ABCD (fig. 28) n'a pas, par lui-même, une force suffisante pour se maintenir, on ne peut pas certainement espérer qu'il présentera quelque résistance à la poussée au delà de AB', et la forte inclinaison de AB' ne tend à rien moins qu'à augmenter cette poussée. Nous croyons inutile de faire remarquer que les déblais des rigoles établies sur la plate-forme ne peuvent servir, sans aucune utilité, qu'à diminuer la solidité des talus.

Les drains placés au pied des talus sont, il est vrai, destinés à assainir la plate-forme ; mais les contre-fossés de $0^m,25$ à $0^m,50$ de profondeur, sont, dans ce cas, bien suffisants, et l'on sait bien que les eaux contenues dans les couches perméables à quelque profondeur ne peuvent en aucune manière endommager la plate-forme. Dans l'exemple de la figure 29, la couche T offre, en A'B', une résistance qu'aucune autre ne peut remplacer, et la supposition que les plate-formes se soulèvent par la pression des terres, ne peut plus guère être soutenue, ce nous semble, que pour des cas extrêmement rares.

Lorsqu'il arrive qu'une couche perméable se trouve à peu de profondeur au-dessous de la plate-forme, les eaux intérieures tendront toujours à s'écouler dans la direc-

Digitized by Google

tion qu'elles suivent depuis des siècles, et, soit que l'on suppose que le terrain qui recouvre cette couche est perméable ou argileux, la plate-forme n'éprouvera aucun soulèvement, car les eaux, en remontant à travers le sable, ne peuvent tout au plus que le ramollir, et encore dans le cas seulement d'une source verticale très-abondante ; et si le terrain est argileux, les eaux intérieures ne peuvent le soulever, parce qu'à moins de circonstances extrêmement rares, telles qu'une grande abondance des eaux et une forme concave de la couche perméable juste au-dessous du chemin de fer, il faudrait généralement une poussée considérable pour vaincre le poids des terres. D'ailleurs, il est inexact de dire qu'une nappe d'eau est contenue dans un terrain naturel perméable ; et quand les eaux sont abondantes, elles obéissent, comme nous l'avons déjà dit, à l'action de la pesanteur, et leur mouvement ascensionnel résulte de la force capillaire, qui est bien plutôt l'effet d'une attraction moléculaire qu'une force capable de déplacer les parties d'une masse dans laquelle l'eau s'élève.

Toutes les fois que nous avons été appelé à vérifier le fait présumé d'un soulèvement de plate-forme, nous avons dû reconnaître que les boues argileuses qui remontaient au-dessus du ballast du chemin de fer étaient formées par le mouvement des traverses, au moment du passage des trains, quand les plate-formes n'avaient pas été convenablement réglées ou que les traverses reposaient directement sur un terrain argileux, parce que le déblai des tranchées n'avait pas été descendu à la profondeur projetée..

Digitized by Google

Galeries de mine.

312. Nous dirons peu de chose des galeries de mine employées comme moyen d'assainissement par M. Daigremont, dans différentes tranchées de son arrondissement, sur la ligne de Mulhouse.

Les galeries de mine établies d'abord à la tranchée du Dockenberg ont eu pour objet, ce nous semble, de remédier à l'insuffisance du drainage, quand la tranchée auxiliaire ne descend pas au niveau de la plate-forme.

Les galeries ne peuvent évidemment servir à l'assainissement des terres que sur une étendue limitée par leur hauteur; il serait absurde, par exemple, de supposer que la galerie A (fig. 31) est capable de recueillir les eaux du suintement supérieur S.

Par conséquent, en employant les galeries comme procédé unique de consolidation, il faudrait bien souvent en établir d'autres à chaque banc de suintement, et l'on comprend que, dans tous les cas, il y a loin, comme simplicité et économie, des galeries de mine aux caniveaux d'assainissement.

Les galeries de mine sont d'ailleurs plus qu'insuffisantes, comme nous avons pu le constater, lorsque les terrains se composent de couches aquifères très-irrégulières, et que les suintements sont très-abondants.

Il est inutile d'ajouter que les galeries remplies de moellons bruts ne valent pas les caniveaux comme moyen d'assainissement, quoiqu'elles reviennent à un prix trente fois supérieur.

313. On a essayé d'assainir les talus de tranchées au moyen de tranchées auxiliaires qui ont quelque analogie avec celles de M. Daigremont, mais plus profondes et descendant jusqu'au-dessous du dernier suintement; une rigole en briques est construite au fond de la tranchée d'assainissement et un empierrement est élevé jusqu'au-dessus du suintement supérieur (fig. 32).

Cet autre mode de drainage nécessite aussi des dépenses considérables; et, au point de vue de la solidité, il présente une partie des inconvénients que nous venons de signaler précédemment.

M. de Régel, ingénieur en chef, a fait un essai de ce procédé. Tous les lecteurs de l'ouvrage de M. Perdonnet[1] ont dû remarquer que M. de Régel n'accorde plus aucun crédit à ce système, et qu'il s'est chargé d'en faire lui-même la réfutation par quelques paroles rapportées dans cet ouvrage; il n'appartenait qu'à un ingénieur aussi éminent de formuler de cette manière et aussi nettement sa pensée.

Remblais.

314. Il ne nous reste plus qu'à examiner quelques procédés différents pour la consolidation des remblais. Les seuls dont nous ayons une suffisante idée, sont les suivants :

1° Murs de soutènement;

[1] *Traité élémentaire des Chemins de fer.*

Digitized by Google

2° Procédé de M. Daigremont;
3° Galeries de mine.

1° Murs de soutènement.

315. Les murs de soutènement ont la plus grande analogie avec nos contre-forts en terres pilonnées; nous croyons donc inutile de dire que ces murs constituent un des moyens les plus efficaces, et qu'il ne manque à ce système que d'être complété par des travaux convenables, destinés à l'assainissement de la plate-forme.

2° Méthode de M. Daigremont.

316. M. Daigremont rapporte, dans le *Nouveau portefeuille*, que, pour consolider un remblai de son service, remblai n° 15, il a fait pratiquer par le beau temps des coupures transversales, que l'on a remplies ensuite avec de bonnes terres bien pilonnées. Ce procédé a ensuite été modifié aux remblais de la Largue et du Rosbackel (remblai n° 15), sans donner aucun résultat satisfaisant; les coupures ont été garnies de briques ou remplies de fascines; ce qui n'a pas empêché ces remblais d'éprouver de nouveaux mouvements à la fin de l'année 1858, et ce qui a démontré la nécessité de les consolider d'après notre système.

3° Galeries de mine.

317. Nous dirons peu de chose des galeries de mine employées pour la consolidation des remblais; ce moyen

Digitized by Google

a, dans ce cas, encore moins de rapport avec les causes d'éboulement que lorsqu'il s'agit de l'assainissement des talus de déblai.

Nous avons été à même de constater que l'on ne peut obtenir aucun résultat utile par ce procédé, quoiqu'il entraîne à des dépenses énormes.

---

318. On nous objectera peut-être que l'on échoue parfois en faisant usage de nos procédés de consolidation. Cela peut en effet arriver, si les travaux ne sont pas conduits, non-seulement avec les précautions que nous avons indiquées, mais surtout si les différents ouvrages que l'on exécute ne sont pas complétement d'accord avec les principes que nous nous sommes efforcé d'expliquer.

On peut très-bien, il est vrai, ne pas réussir en construisant des caniveaux parfaitement maçonnés ou des contre-forts en terres choisies et bien pilonnées, etc., si les caniveaux ne sont pas établis aux points convenables, si les contre-forts ne reposent pas sur un terrain solide, ou qu'il existe au-dessous de leur base des surfaces de glissement, etc.

Notre système, tel que nous le présentons, est applicable dans tous les cas, puisqu'il repose sur un principe qui résume ceux qui servent de base à tous les autres systèmes connus. Quant à la valeur de nos procédés, nous la croyons suffisamment prouvée par des faits

Digitized by Google

nombreux et incontestables, et nous pouvons assurer que nous n'avons plus maintenant d'autre préoccupation que celle de chercher à les perfectionner et à les simplifier.

Sans doute, nous n'avons pas obtenu partout et toujours des résultats complets; mais c'est souvent en recherchant les causes de l'insuffisance d'un travail que l'on a dirigé que l'on acquiert le plus d'expérience, et cet exposé de notre système n'est en définitive que le résultat des observations que nous avons pu faire dans les circonstances les plus diverses, sur les causes des éboulements et sur les meilleurs procédés de consolidation des talus.

FIN.

Digitized by Google

TABLE DES MATIERES.

CHAPITRE I.

EXPOSÉ DES DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE CONSOLIDATION.

Digitized by Google

CHAPITRE II.

CHAPITRE III.

CAUSES DES ÉBOULEMENTS.

CHAPITRE IV.

MODE DE PRODUCTION DES ÉBOULEMENTS.

CHAPITRE V.

ÉTUDE DES TERRAINS.

CHAPITRE VI.

PROCÉDÉS DE CONSOLIDATION.

Digitized by Google

CHAPITRE VII.

DÉPENSES.

PRIX DE REVIENT.

Digitized by Google

CHAPITRE VIII.

EXAMEN DES DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE CONSOLIDATION.

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

57673Z

Paris. — Typographie Hennuyer, rue du Boulevard, 7.

VA1 154051 9

Digitized by Google

11-

835/8

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE DE J. BAUDRY, ÉDITEUR

15, RUE DES SAINTS-PÈRES, A PARIS.

PRUD'HOMME (L.), ingénieur civil, conducteur au corps des ponts et chaussées (service du contrôle des chemins de fer à Saint-Étienne). **Cours pratique de construction,** rédigé conformément au paragraphe 5 du programme officiel des connaissances pratiques exigées pour devenir ingénieur.

Terrassements — ouvrages d'art — conduite des travaux — matériel — fondations — draguage — mortiers et bétons — maçonnerie — bois — métaux — peinture — jaugeage des eaux — règlement des usines — etc., etc.

Deux volumes in-8°, accompagnés de 330 figures dans le texte. . . . . 15 fr.

LOIGNON (G.), conducteur d'études et de travaux de chemins de fer. **Ponts biais.** Tracé des épures, coupe des pierres et détails sur la construction des différents systèmes d'appareils de voûtes biaises, mis à la portée de tous les agents de travaux et appareilleurs. 75 pages in-8° et un atlas de 14 planches doubles in-4°.

DE LA GOURNERIE. Mémoire sur l'appareil de l'arche biaise, suivi d'une analyse des principaux ouvrages sur cette question, etc. Brochure in-8°. 2 fr.

LEJEUNE, ancien élève de l'École centrale des arts et manufactures. Traité pratique de la **Coupe des pierres,** précédé de toute la partie de la **Géométrie descriptive** qui trouve son application dans la coupe des pierres, à l'usage des entrepreneurs et conducteurs de travaux, des appareilleurs, etc. Ouvrage essentiellement pratique et remarquable par la clarté des explications et par le choix des figures. Un volume de texte in-8° de 600 pages et un atlas in-4° de 59 planches contenant 381 figures. 40 fr.

Paris — Typographie A. Hennuyer, rue d'Arcet, 7

Digitized by Google

